

Jarno Salminen

HYDRAULIIKKAVENTTIILISTÖJEN TESTIPENKIN HYDRAULISEN RAJAPINNAN SUUNNITTELUPROSESSI

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kalevi Huhtala
Asko Ellman
11.2020

TIIVISTELMÄ

Jarno Salminen: Hydraulisen testipenkin hydraulisen rajapinnan suunnittelu prosessi
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2020

Tämän diplomityön tarkoituksena oli aikaansaada suunnitelma hydraulikkajärjestelmästä, joka yhdistyy uudistettuun testipenkkiin. Diplomityön rajaukseen kuului nykyisen hydraulijärjestelmän kartoitusta, sekä uuden järjestelmän suunnittelua. Testipenkkiä käytetään hydraulisten venttiilistöjen testaamiseen tuotannossa. Testauksen turvallisuutta parannettaessa testipenkkiin asennettavilla suoilla, testattavan venttiilistön yhdistäminen testipenkin hydraulikkaan vaikeutuu. Uusien testipenkki järjestelyjen johdosta hydraulikkajärjestelmän uusimiselle oli selkeä tarve.

Testipenkin hydraulikkajärjestelmä välittää öljynpainetta ja tilavuusvirtaa testattavalle venttiilistölle. Testaaja käyttää testipenkkiä yhdistämällä venttiilistön penkin hydraulikkaan letkuilla. Testaaja ohjaa testipenkille tulevaa tilavuusvirtaa ja maksimi painetta testipenkin ohjainpaneelistä.

Tässä työssä kartoitettiin testipenkkiin hydraulikkajärjestelmän nykytila, sekä uuden järjestelmän vaatimat muutokset. Työssä suunniteltiin testipenkkeihin uudet paine- ja tankkipalkit, jotka yhdistyvät nykyiseen hydraulikkajärjestelmään, ja korvaavat nykyiset paine- ja tankkipalkit. Uusiin palkkeihin suunniteltiin parannuksia, jotka helpottavat käyttöä suojen ulkopuolelta, sekä muokkaavat järjestelmän toimintaa sen tarkoituksen mukaisemmaksi. Komponentteja suunniteltaessa tuli ottaa huomioon käyttäjäystävällisyys ja turvallisuus.

Diplomityön luonteen omaisesti työn alussa määriteltiin tutkimuskysymykset, jotka ratkaistiin työn edetessä. Työhön liittyvät tutkimuskysymykset ratkaistiin hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuuskatsausta, teemahaastattelua, toimintatutkimusta, mallinnusta sekä simulointia.

Työn lopussa valmista suunnitelmaa analysoitiin vertailemalla sitä alussa määriteltuihin vaatimuksiin. Havaittiin että suunnitellun järjestelmän osat, sekä järjestelmä kokonaisuudessaan, vastaavat hyvin sille asetettuihin vaatimuksiin. Lopussa käytiin läpi käytetyt tutkimusmenetelmät ja niillä selvinneet ratkaisut.

Avainsanat: hydraulikka, testipenkki, suunnittelu, systems engineering, turvallisuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Jarno Salminen: Designing process of hydraulic interface of hydraulic test bench
Master's thesis
Tampere University
Mechanical engineering
November 2020

This Master's thesis work was supposed to accomplish a finished design of hydraulic system for updated hydraulic test bench. This work's scope was confined in to mapping of the existing hydraulic system and in to designing of the new hydraulic system. The test bench is used for testing of hydraulic manifolds in production line. While test bench's safety is improved by adding covers, connecting the manifold to the test bench become more challenging. With new test bench setup, renewal of hydraulic system became clearly needed.

Hydraulic system of the test bench supplies oil pressure and volume flow to the manifold in testing. The user connects the manifold to hydraulic system with hoses. The user controls pressure and flow via control panel of the test bench.

In this master's thesis work hydraulic systems present state and changes for the new system where realized. New pressure- and tank manifold were designed. Pressure- and tank manifolds connects to existing hydraulic system and replace the existing manifolds. There were improvements in design of new manifolds, that makes using the system from outside of the covers easier, also system functions were altered to work more appropriate. Useability and safety were taken into consideration when components were designed.

Characteristically for master's thesis, research questions were specified at the beginning of the work. Questions were solved during the work. Questions were solved with proper scientific practice. This works research methods were literature research, action research, partly structural interview, modelling and simulation.

At the end of the work finished design was analyzed by comparing it to the requirements, that were defined in the beginning of the work. It was discovered that the design of the system components and the whole system matches well to the requirements they were given. At the end used research methods were reviewed and the results were presented.

Keywords: hydraulic system, test bench, mechanical design, systems engineering, safety engineering

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty hydraulisen testipenkin hydraulikkajärjestelmän suunnitteluprosessista. Toteutin suunnittelu prosessin kevään ja kesän 2020 aikana Tampereella Parker Hannifin Manufacturing Finland Oy:n alaisuudessa.

Kiitokset diplomityöni ohjaajalle Osku Hokkaselle, sekä tarkastajille Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunnan professoreille Kalevi Huhtalalle ja Asko Ellmanille. Kiitokset myös koko Parkerin porukalle, joilta olen saanut apua työni tiimoilta.

Eriyiskiitokset kuuluvat läheisilleni, joilta olen saanut tukea ja ymmärrystä koko opintojeni ajan.

Tampereella, 13.11.2020

Jarno Salminen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. PROJEKTIN ESITTELY	2
2.1 Tutkimuksen kuvaus	3
2.2 Järjestelmän kuvaus	3
2.3 Hydraulikka	5
2.4 Testipenkin suojat	7
2.5 Uuden testipenkin tarve	7
2.6 Projektin hallinta	7
2.7 V-malli	8
3. VAATIMUKSET	11
3.1 Sidosryhmävaatimukset	11
3.2 Turvallisuusvaatimukset	12
3.3 Toiminnalliset vaatimukset	16
3.4 Ei-toiminnalliset vaatimukset	16
4. ANALYSOINTI JA KARKEASUUNNITTELU	18
4.1 Tarvittavat muutokset järjestelmän eri osa-alueisiin	18
4.1.1 Venttiililohkot	19
4.1.2 Putket	20
4.2 Karkea suunnittelu	20
4.2.1 Projektipuolen palkkien karkea suunnittelu	21
4.2.2 Projektipuolen painepalkin komponenttien valinta	23
4.2.3 Projektipuolen tankkipalkin komponenttien valinta	26
4.2.4 Sarjapuolen painepalkin komponenttien valinta	28
4.2.5 Sarjapuolen tankkipalkin komponenttien valinta	29
5. HYDRAULIIKKA KOMPONENTTIEN SUUNNITTELU	30
5.1 Projektipuolen palkit	31
5.2 Putket	33
5.3 Kustannusarvio	36
5.4 Painepalkin adapterit	37
5.5 Tankkipalkin adapterit	40
5.6 Päätyaseman palkit	42
5.7 Tukirakenteet	44
5.7.1 Paine- ja tankkipalkkien jalustat	45
5.7.2 Letkulentkilohtokoteline	46
5.8 Sarjapuolen palkit	47
5.8.1 Sarjapuolen painepalkki	47
5.8.2 Sarjapuolen tankkipalkki	49
5.9 Pulttiliitoksen mitoitus	49

6.KOMPONENTTIEN PAINEENKESTON SIMULOINTI.....	54
6.1 Projektipuolen pikaliitinlohkojen tarkastelu	54
6.2 Projektipuolen adapterilohkojen tarkastelu	55
6.3 Projektipuolen päätypenkin vapaakiertolohkot.....	59
6.4 Sarjapuolen pikaliitinlohkojen tarkastelu.....	60
6.5 Sarjapuolen venttiililohkojen tarkastelu.....	60
6.6 Yhteenvetoa simuloinnista	61
7.VERIFIOINTI.....	62
7.1 Turvallisuusvaatimusten verifiointi.....	62
7.2 Toiminnallistenvaatimusten verifiointi	64
7.3 Ei-toiminnallistenvaatimusten verifiointi	65
7.4 Sidosryhmävaatimusten verifiointi	66
8.YHTEENVETO.....	69
9.LÄHTEET	72

LYHENTEET JA MERKINNÄT

FEM	Finite Element Method eli elementti menetelmä
P1- ja P2-linjat	Pääpumppujen painelinjat
T-linja	Tankkilinja
Drainlinja	Venttiilien vuodoille tarkoitettu paineeton linja
P [bar]	paine
Q [l/min]	tilavuusvirta
F [N]	voima
A [m ²]	pinta-ala
M [nM]	momentti
r [m]	säde
d [m]	halkaisija

1. JOHDANTO

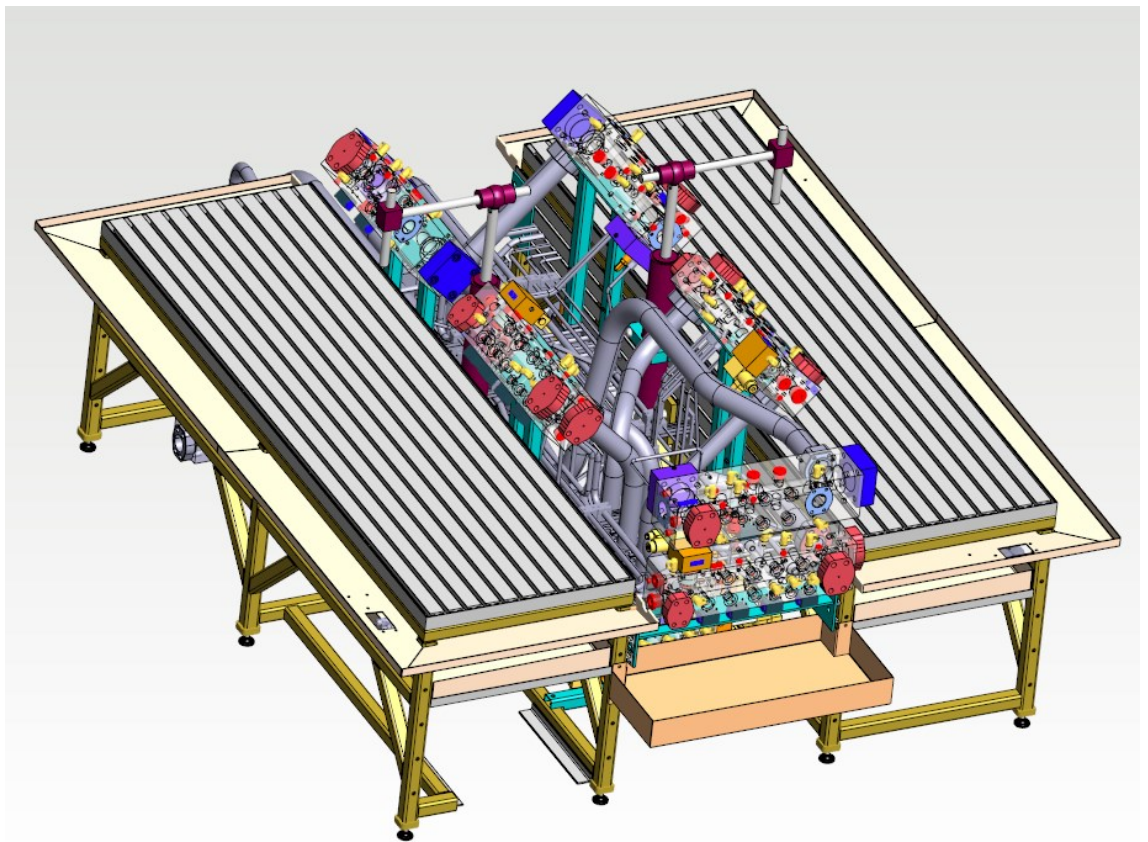
Tässä diplomityössä esitellään hydraulisten testipenkkien uudistusprojektin hydraulisen rajapinnan suunnitteluprosessi. Suunnitteluprosessin tarkoituksena oli tehdä suunnitelma, joka vastaa kaikkiin sille asetettuihin vaatimuksiin. Testipenkkien uudistamisprojekti lähti liikkeelle testaajan turvallisuuden parantamisesta, jossa päädyttiin pleksisuojiin lisäämisen olevan tarpeellista. Pleksisuojiin lisääminen testipenkin ympärille aiheutti tarpeen tämän työn toteutukselle. Projektissa oli tarkoituksena kartoittaa tarvittavat muutokset Parker Hannifin Manufacturing Finland Oy:n hydraulisten venttiilistöjen testaukseen käytettävän testipenkin hydraulikkajärjestelmään. Tarvittavien muutosten ollessa tiedossa suunniteltiin ne järjestelmän osat uudelleen siten, että ne toimivat yhdessä ennalla pidettävien järjestelmän osien kanssa.

Diplomityö alkaa nyky tilanteen määrittelystä ja loppuu ennen tuotteiden valmistusta. Suunnittelu prosessi toteutettiin vaatimus lähtöisesti, ja se noudattaa v-mallin tyyppistä prosessia. Suunnittelu prosessin ensimmäinen vaihe oli vaatimussuunnittelu, jossa järjestelmälle asetettuja vaatimuksia kerättiin eri näkökulmista. Vaatimusten perusteella järjestelmän osat suunniteltiin karkealla tasolla yhteistyössä laitteen käyttäjien kanssa. Karkeaan suunnitteluun kuului venttiililohkojen fyysisten ominaisuuksien hahmottelu, sekä komponenttien valinta.

Karkean suunnitelman ollessa valmis suunniteltiin järjestelmän osat tarkemmin loppuun ja valmistettavista kappaleista tehtiin työkuvat. Valmiit venttiililohkot vielä tarkasteltiin FEM-analyysin keinoin, jotta paineen kestästä saatiin varmempaa tietoa, ja tarvittavat parannukset voitiin tehdä. Lopuksi suunniteltuja järjestelmän osia ja järjestelmää kokonaisuutena, verrattiin alussa asetettuihin vaatimuksiin, ja analysoitiin niiden vastaavuutta.

2. PROJEKTIN ESITTELY

Testipenkkiä käytetään hydraulisten venttiilistöjen testaamiseen. Testipenkin energian lähteenä toimii koneikko, jossa hydraulisia pumppuja pyöritetään sähkömoottoreilla. Testipenkkiin kuuluu taso, jolle testattava venttiilistö voidaan asettaa tukevasti, käyttöpaneeli josta testaaja ohjaa pumppuja, koneikosta tulevat paine liitännät jotka yhdistetään testattavaan venttiilistöön, sekä koneikkoon palautuvat tankki liitännät.



Kuva 2.1 Testipenkkiryhmän pöydät ja hydraulikka

Kuvassa Kuva 2.1 esitetään testipenkkiryhmä, johon kuuluu kaksi sivutestiasemaa ja yksi päätytestiasema. Jokaisella testiasemalla on omat paine- ja tankkipalkit, joihin testattava venttiilistö yhdistetään letkuilla. Paine-palkit yhdistyvät yhteiseen paineenjakoverkkoventtiilistöön, joka sijaitsee testipenkkiryhmän keskellä. Sivutestiasemilla on omat hydraulikkasyylinterit, joilla testattava venttiilistö kiinnitetään testin ajaksi pöytään. Tässä luvussa kuvataan koko testijärjestelmä karkealla tasolla, sekä sen hydraulikkajärjestelmä tarkemmalla tasolla.

2.1 Tutkimuksen kuvaus

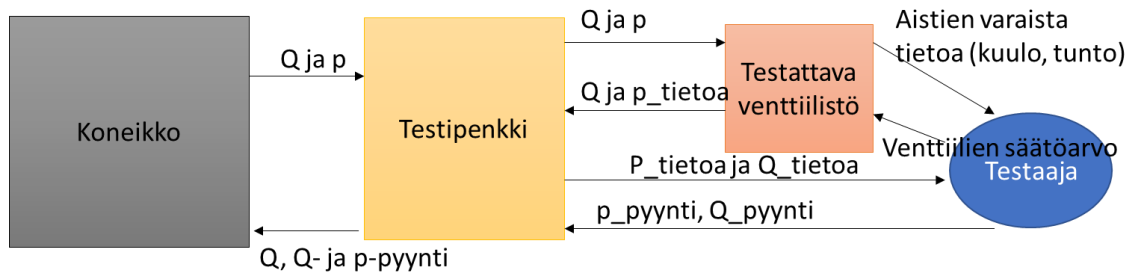
Diplomityön tarkoituksena on ratkaista sille asetetut tutkimuskysymykset ja -ongelmat, hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti. Tässä työssä tutkimuskysymyksiksi muodostui:

- Mitä muutoksia hanke vaatii hydrauliiikan osalta?
- Millaiset testipenkin hydraulikka palkit ovat käyttäjäystävälliset ja turvalliset?
- Kuinka paljon lohkojen väliset pulttiliitokset kestävät painetta?
- Kuinka paljon lohkot kestävät sisäistä painetta?

Tutkimuskysymyksiä ratkaistaan erilaisilla tutkimusmenetelmillä, joita tämän työn tapauksessa ovat kirjallisuuskatsaus, toimintatutkimus, teemahaastattelu, mallinnus ja simulointi. Kirjallisuuskatsausta käytettiin työn useassa vaiheessa, kun esimerkiksi jokin työssä vastaan tullut ilmiö vaati teoreettista selvitystä. Toimintatutkimuksella tarkoitetaan tutkimusmenetelmää, jossa kehitetään tutkimustiedon avulla käytännön toimintamallia **Error! Reference source not found..** Teemahaastattelulla tarkoitetaan puolistrukturoitua haastattelua, joka on rakenteeltaan jotain avoimen haastattelun ja lomakehaastattelun väliltä **Error! Reference source not found..** Mallinnuksella tarkoitetaan menetelmää, jossa jokin todellisen maailman asia esitetään mallilla, jonka tarkoituksena on olla yksinkertaistettu vastine todellisen maailman asialle. Simuloinnissa malliin kohdistetaan jonkin ilmiön aiheuttamaa vaikutusta, ja laskennallisoin keinoin tarkastellaan ilmiön vaikutusta malliin. Mallinnusta käytettiin työn suunnittelu vaiheessa, jossa järjestelmän uudet osat mallinnettiin ja sovitettiin vanhojen osien kanssa sopiviksi. Simuloinnilla varmistettiin suunniteltujen osien paineen kesto.

2.2 Järjestelmän kuvaus

Kuvassa 2.2 näkyy testausjärjestelmä karkealla tasolla. Koneikko tuottaa testipenkille tilavuusvirtaa ja painetta. Testipenkki välittää tilavuusvirran ja paineen testattavalle venttiilistölle, jota testaaja havainnoi. Testaaja saa tietoa testattavan venttiilistön toiminnasta useasta lähteestä, testipenkin painemittaristosta, testipenkin virtausmittareista, sekä aistin varaisesti esimerkiksi kuulon avulla voi todeta venttiilin avautumisen tai tuntea kädellä letkussa virtaavan nesteen. Testaaja vaikuttaa testattavaan venttiilistöön muuttamalla venttiilien säätöarvot halutuiksi. Koneikon tuottamaa maksimi tilavuusvirtaa ja maksimi painetta testaaja pääsee muuttamaan testipenkin välityksellä.



Kuva 2.2: Testaus järjestelmä

Testipenkkiryhmiä on hallissa yhteensä 4, ryhmät jakautuu projekti- ja sarjapuoleksi, joista molemmissa on kaksi testipenkkiryhmää, esiteltynä kuvassa Kuva 2.1. Projektipuolen kahteen testipenkkiryhmään kuuluu 3 testiasemaa, 2 keskenään samanlaista sivutestiasemaa, sekä päätytestiasema jossa tarkoitus testata isompia venttiilistöjä. Projektipuolen testipenkit ovat tarkoitettu suuremman vaihtelun omaavien sekä projektiluontoisten tuote-erien testaamiseen. Sarjapuolen testipenkien käyttö on tarkemmin tiedossa, testattavien tuote-erien ollessa vaikioituneemmat kuin projektipuolella. Näin ollen sarjapuolen koneikko ei tarvitse yhtä suurta tehoreserviä, teho vaatimusten ollessa tarkemmin tiedossa.

Projektipuolen kahdelle testipenkkiryhmälle on käytössä koneikko, jossa on 4 isoa pumppua, sekä 4 pienempää pumppua. Neljästä pienemmästä pumpusta kaksi on rajoitettu 80 bar paineeseen, ja niillä on tarkoitus ajaa venttiilien ohjauksia. Kaksi muuta pienempää pumppua on tarkoitettu korkeapainetesteihin, ja ne ovat rajoitettu 600 bar paineeseen. Molemmilla testipenkkiryhmistä on oma korkeapainepumppu käytössään. Tarvittaessa hieman suurempaa tuottoa, esimerkiksi jos testattavassa lohossa on isoja karavuotoja, voidaan ottaa molemmat korkeapainepumput yhteiskäyttöön. Kummallakin testipenkkiryhmällä on käytössä oma ohjauspainepumppu. Isot pumput ovat vapaassa käytössä kaikissa projektipuolen testipenkeissä. Yhteen testipenkkiin voidaan ottaa tarvittaessa samanaikaisesti käyttöön kaikki neljä isoa pumppua.

Sarjapuolen kahteen testipenkkiryhmään kuuluu kumpaankin 2 sivutestiasemaa. Sarjapuolen testipenkeillä on käytössä koneikko, jossa on 4 isoa pumppua, sekä 3 pienempää pumppua, joista 2 on ohjauspaine pumppuja ja yksi korkeapainepumppu. Sarjapuolen ohjauspainepumput ovat rajoitettu 50 bar paineeseen. Molemmilla testipenkkiryhmillä on käytössä 2 isoa pumppua, yksi ohjauspainepumppu, sekä yksi korkeapainepumppu joka on jaettu molemmille testipenkki ryhmälle. Korkeapainepumppua voi käyttää vain yksi testipenkki samanaikaisesti koko sarjapuolella.

Testaaja valitsee testipenkin käyttöpaneelistä käytettävät pumput. Isoja pumppuja käytettäessä testaaja valitsee pumpulta pyydetävän maksimi tilavuusvirran ja maksimi paineen. Pienempiä pumppuja käytettäessä tilavuusvirta on vakio. Testaaja säätää pienempien pumppujen paineet paineenrajoitusventtiileillä, jotka sijaitsevat testipenkin kyljessä lähellä testaajaa. Pumput yhdistyvät putkien kautta testipenkin painepalkkiin, joka yhdistetään testattavaan lohkon irroitettavilla letkuilla. Paine-palkissa on jokaiselle painelinjalle omat vapaakiertohanat, jotka mahdollistavat pumppujen turvallisemman käynnistyksen.

2.3 Hydrauliikka

Testipenkkiin liittyvä hydraulijärjestelmä sisältää pääpiirteittäin tankin, suodattimet, pumput, paineenjakoventtiilistöt, säätöpalkit, painepalkit sekä tankkipalkit. Pääpumput ovat säätötilavuuspumppuja, joiden säätimet mahdollistavat paineen ja tilavuusvirran säädön. Jokaisella pumpulla on oma 75 kW sähkömoottori. Pumput tuottavat 377 l/min virtausta, ja maksimissaan 400 bar painetta. Sähkömoottorin teho ei kuitenkaan riitä, jotta yksi pumppu tuottaisi 377 l/min tilavuusvirran 400 bar paineella. Teoriassa kaikilla neljällä pumpulla saadaan yhteensä 450 l/min tilavuusvirta 400 bar paineella, tässä ei kuitenkaan ole otettu huomioon hyötysuhteita eikä painehäviöitä, joten testattavalle lohkolle saadaan vähemmän tehoa todellisuudessa.

Lisäksi koneikossa on neljä vakiotilavuusvirtapumppua, joista kaksi on korkeapainepumppuja, ja toiset kaksi ohjauspainepumppuja. Korkeapainepumput ovat rajoitettu 600 bar paineeseen, ja ne tuottavat 8,5 l/min tilavuusvirran. Ohjauspainepumput ovat rajoitettu 80 bar:n paineeseen, ja ne tuottavat 54 l/min tilavuusvirran.

Jokaisella pumpulla on omat paine suodattimet, joiden yhteydessä on myös vapaakiertopatruunaventtiilit, joilla pumppua käynnistettäessä ohjataan virtaus takaisin tankkiin, ja vastaventtiilit, joiden kautta virtaus kulkee testipenkille. Kun pumppua aletaan käyttää, sulkeutuu vapaakiertoventtiili. Jokaisen pumpun omat virtausanturit antavat tiedon testipenkin käyttöpaneeliin, jossa testaajalle näytetään kyseisen testipenkin käytössä olevien pumppujen virtauksien summa.

Pääpumppujen virtaus johdetaan putkien avulla testipenkkiryhmille, jossa se jaetaan paineenjakoventtiilistöjen avulla testiasemille. Paineenjakoventtiilistö jakaa pumppujen virtaukset testiaseman käyttöpaneelistä määrättyllä tavalla, 2/2 suuntaventtiilipatruunoiden avulla, joiden esiohjausventtiileinä toimii pienet 4/2

solenoidiventtiilit. Projektipuolen paineenjakoventtiilistö mahdollistaa 4 pumpun vapaan käytön jokaisella testiasemalla.

Paineenjakoventtiilistön jakama virtaus johdetaan putkien kautta painepalkille, joka on testiasemalla. Painepalkista välitetään virtaus testattavalle venttiilistölle letkujen avulla, josta se johdetaan letkuja pitkin tankkipalkkiin. Paine- ja tankkipalkit ovat testaajan ja hydraulikan välisen rajapinnan tärkeimpiä osia. Testissä käytettävät letkut liitetään useimmissa tapauksissa pikaliittimien avulla palkkeihin, tapaukset joissa tarvitaan suurempia tilavuusvirtoja, käytetään kierreliittimiä.

Paine- ja tankkipalkit ovat toiminnoiltaan hyvin yksinkertaiset. Painepalkkiin tulee kaksi pääpainelinjaa paineenjakoventtiilistöltä, sekä korkeapaine ja ohjauspainelinjat. Painepalkissa toimintoina ovat jokaisen linjan vapaakierrot sekä kahden päälinjan yhteiskäyttö venttiili. Vapaakiertohanojen tarkoituksena on estää paine-isku, joka syntyy pumppujen käynnistyessä. Hanoja pidetään normaalisti auki. Käytettävän linjan hana laitetaan kiinni, kun pumppu on käynnistetty. Jokaisella linjalla on useampi eri kokoinen lähtö, joita testaaja voi käyttää parhaaksi näkemällään tavalla. Painepalkissa on lähdöt korkea- ja ohjauspainelinjojen paineenrajoitusventtiileille, joilla testaaja voi säätää linjojen paineita.

Tankkipalkissa on kuormituspatruuna, jolla voidaan simuloida toimilaitteen kuormaa, vastaventtiili, jolla estetään tankkipaineen vuotaminen takaisin, sekä vapaakiertohanat. Kuormituspatruuna on esiohjattu paineenrajoitusventtiili. Kuormituspatruunan esiohjauksessa on kiinteä 400 bar paineenrajoitusventtiili sekä lähtö säädettävälle venttiilille, jolla testaaja voi säätää kuorman painetta 0-400 bar välillä.

Säätöpalkissa on koottuna edellämainitut säädettävät paineenrajoitusventtiilit korkea- ja ohjauspainelinjoille sekä kuorman paineelle. Säätöpalkki on tuotu testaajan läheisyyteen testipenkin pöydän alapuolelle.

Jokaisella testiasemalla on myös kyseisen asennuslinjan tarpeisiin kuuluvia testiventtiilistöjä, joita käytetään tiettyjen venttiilistöjen testaukseen. Muutamalla testiasemalla on myös hydraulikkamootori, joita tarvitaan kyseisien asennuslinjojen yleisimpien tuotteiden testaukseen. Testiasemilla käytetään hydraulisynteriä testattavan venttiilistön kiinnittämiseksi. Sylinteri toimii samalla pienellä pumpulla jolla pumpataan öljyä valumakaukaloista takaisin koneikon tankkiin.

2.4 Testipenkin suojat

Testiasemilla on kiinteät pleksisuojat penkkien päädyissä ja penkkien välissä, testiasemaryhmän keskellä. Sivutestiasemilla on liikuteltavat pleksisuojat pöydän pitkällä sivuilla, joita testaajat käyttävät testattavan venttiilistön suojaamiseksi testin ajaksi. Koko testiä ei kuitenkaan voi suorittaa suojan takaa.

Ensinnäkin painelinjojen vapaakiertohanojen käyttö on käsikahvalla ja sijaitsee suojien takana. Testattavan venttiilistön venttiilikelojen sähkönsyöttö on myös suojien sisällä, jolloin venttiilin testaus vaatii testaajalta suojan taakse menemistä. Kaikki säädettävät venttiilit joudutaan säätämään suojien sisällä. Käytännössä suojan käyttö testauksen aikana onnistuu vain osassa testin vaiheista, jolloin suoja jää usein sivuun koko testauksen ajaksi. Suojan ollessa käytössä se ei silti kaikissa tapauksissa suojaa täysin sivullisia eikä välttämättä testaajaa.

2.5 Uuden testipenkin tarve

Testiasemien uudistamisprojektin tärkeimpänä syynä on turvallisuus. Testaaja ja sivulliset olisi tarkoitus olla suojattuna mahdollisimman iso osa testissä kuluva ajasta. Nykyinen testiasema vaatii useita toimintoja suoritettavaksi suojien sisäpuolelta. Iso osa tällä hetkellä suojien sisällä tehtävistä toiminnoista voidaan siirtää tehtäväksi suojien ulkopuolelta. Venttiilikelojen sähkönsyöttöjen katkaisijat sekä vapaakiertohanojen muuttaminen sähköohjatuiksi on helposti toteutettavissa. Säädettävien venttiilien säätöä ei kuitenkaan voida tämän projektin puitteissa toteuttaa suojien ulkopuolelta.

Uutta testipenkkiä suunniteltaessa voidaan samalla tehdä parannuksia moneen muuhunkin asiaan. Esimerkiksi huollettavuus on tärkeä pitää mielessä. Nykyisissä testipenkeissä pöytä osa on kiinteä eikä sitä saa helposti pois tieltä huollontarpeen tullessa. Samalla kaikki projektissa uudistettavat järjestelmän osat suunnitellaan vastaamaan käyttäjän näkökulmasta tärkeitä asioita mahdollisimman hyvin, säilyttäen kuitenkin energiatehokkuus parhaalla mahdollisella tavalla.

2.6 Projektin hallinta

Projektissa yhdistyy useat eri tekniikanalat. Projektin hallinta auttaa selkeyttämään suunnittelu prosessia, ja varmistaa että projektissa esiintyvät tekniikanalat otetaan tarvittavissa määrin huomioon.

Projektiin liittyvät tekniikanalat ovat:

- Mekatroniikka
- Turvallisuustekniikka
- Valmistustekniikka

Mekatroniikka monitieteellinen tieteenala, joka yhdistää mekaniikan, tehonlähteet ja ohjauksen. Tässä projektissa mekatroniikka käsittää laitteen fyysisen olemuksen sekä hydraulikan ja sähkön. Mekatroniikka suunnittelulla pyritään vastaamaan vaatimuksiin, jotka liittyvät laitteen fyysisiin ja toiminnallisiin ominaisuuksiin.

Turvallisuustekniikan avulla pyritään varmistamaan laitteen turvallinen ja ergonominen käyttö. Turvallisuus on tämän projektin suurin motivaattori. Tässä projektissa suunniteltavalle laitteelle asetetaan turvallisuusvaatimukset.

Valmistustekniikka käsittelee eri valmistusmenetelmiä. Tässä projektissa keskeisiä valmistusmenetelmiä venttiililohkoja valmistaessa ovat lastuava työstö, joista tärkeimpinä jyrsintä ja poraus. Valmistustekniset asiat ovat tärkeässä roolissa, kun suunnitellaan mitä tahansa kappaletta tai laitetta.

Suunnittelu prosessi noudattaa systems engineeringin periaatteita. INCOSE:n määritelmän mukaan systems engineering on monitieteinen lähestymis tapa järjestelmien suunnitteluun [8]. Systems engineeringiin kuuluu tuotteen koko elinkaaren suunnittelu. Eisner esittää, että systems engineering on iteroiva prosessi, jolla vastataan kaikkiin systeemin vaatimuksiin **Error! Reference source not found..**

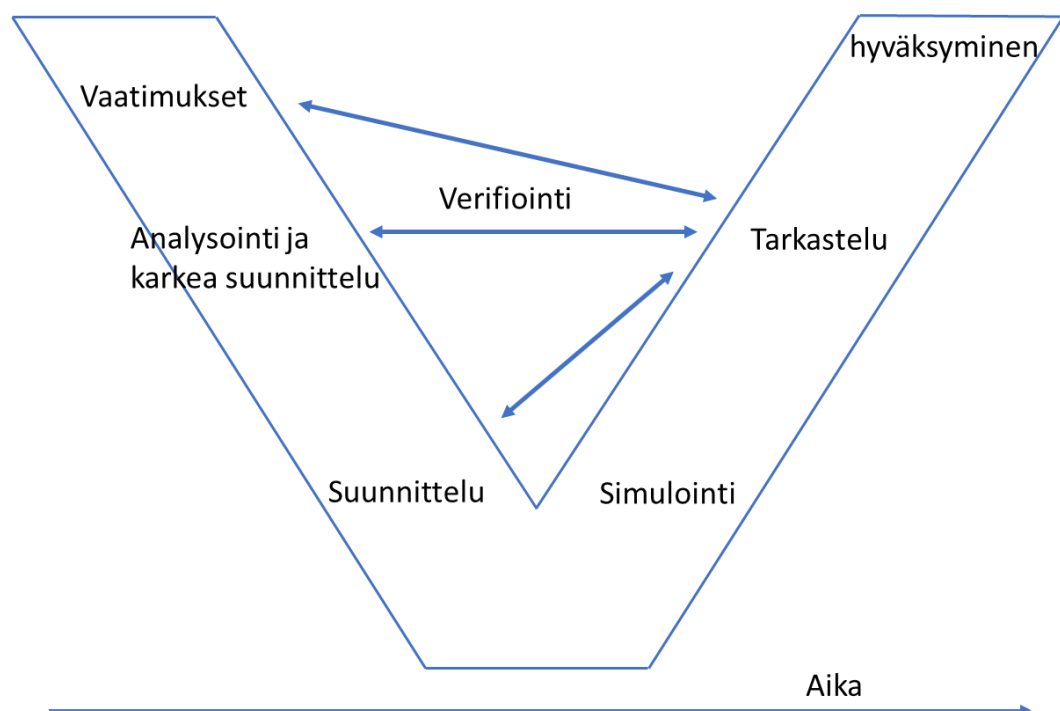
2.7 V-malli

V-malli on systems engineering toimintamalli. V-malli on kehittynyt versio vesiputousmallista. V-mallissa projektin vaiheet kulkevat alussa v-kirjaimen vasenta kylkeä pitkin järjestyksessä. V-mallin oikealla kyljellä edetään projektin vaiheita eteenpäin, mutta tehdään verifiointi ja validointi hyppäyksiä v-kirjaimen vastakkaiselle puolelle. V-mallin alussa on käyttäjä vaatimukset, ja lopussa käyttäjä vaatimukset täyttävä tuote. [1]

Käyttäjä vaatimusten määrittelyn jälkeen luodaan tekniset vaatimukset, jonka jälkeen projektin suunnitteluosa alkaa ylemmän tason suunnittelulla ja analysoinnilla. Näiden jälkeen toteutetaan tarkempi suunnittelu, jota seuraa V-kirjaimen pohjalla oleva tuotteen valmistus. Valmista tuotetta aletaan testata. Testauksilla verifioidaan V-mallin aiempia vaiheita. Lopuksi valmis tuote testataan käyttäjän toimesta. Kyseistä V-mallia voidaan esimerkiksi soveltaa prototyypin suunnittelu ja testausprosessissa,

jonka jälkeen aloitetaan uudelleen sama prosessi joko uudelle prototyypille tai valmiille tuotteelle. [1]

Testipenkin hydraulikan suunnitteluprojekti on laaja ja vaatii useiden eri asioiden huomioon ottamista. Projektissa suunnitellaan useita tuotteita. V-malli soveltuu hyvin kyseisen tyyppiseen suunnittelu projektiin. Tämän työ kuitenkin keskittyy vain projektin suunnittelu osuuteen, joka alkaa käyttäjävaatimusten määrittämisestä, ja loppuu ennen tuotteen valmistusta. Kuva 2.3 näkyy kyseistä työtä varten sovellettu V-malli. Prosessi kulkee vasemmalta oikealle V kirjaimen mukaan. V-mallin vasemmalla laidalla projektin suunnittelu toimintoja, kun taas oikealla on testausta ja tarkastelua. Nuolet V-mallin välissä kuvaavat verifiointia ja validointia.



Kuva 2.3: Suunnittelu projektin V-malli

Verifiointia ja validointia tehdään testaus ja tarkastelu vaiheessa taaksepäin suunnittelu vaiheeseen, mutta myös suunnittelu vaiheessa voidaan tehdä toiseen suuntaan. Tällä metodilla syntyy pieniä iteratiivisia silmukoita, joiden avulla tuote kehittyy paremmaksi. Esimerkiksi karkealla tasolla suunniteltua tuotetta voidaan esitellä käyttäjälle, ja haastatella parannus ideoita siltä pohjalta, ja näin kehittää tuotetta eteenpäin.

Fowlerin mukaan V-mallin heikkoutena on oletus siitä että alussa tehtävä vaatimuslista olisi valmis, kun todellisuudessa se yleensä vielä muuttuu ja laajenee projektin edetessä. Vaatimuslistan muuttuminen saattaa aiheuttaa lisä kestoja koko

prosessille, kun siitä muodostuu loputon spiraali.**Error! Reference source not found.**

Projektin useat tuotteet suunniteltiin ominaan, ja suunnittelussa sovellettiin V-mallia erikseen jokaisen tuotteen kohdalla. Projekti kulki V-mallin mukaisesti, jolloin jokaisen tuotteen suunnittelu prosessi eteni vaihe kerrallaan saman aikaisesti muiden tuotteiden kanssa. Tämän työn luvut seuraavat V-mallin vaiheita.

3. VAATIMUKSET

Suunnittelu projekti alkaa vaatimuksien määrittelyllä. Vaatimukset jaotellaan eri osa-alueisiin, jolloin niitä on helpompi määrittellä ja hallita. Tässä työssä vaatimukset jaetaan seuraavalla tavalla:

- sidosryhmävaatimukset
- turvallisuusvaatimukset
- toiminnalliset vaatimukset
- ei-toiminnalliset vaatimukset

Fowlerin mukaan vaatimusten määrittely suunnittelu projektin alussa on erittäin tärkeä vaihe, sillä vaatimusten lisääminen projektin myöhemmissä vaiheissa aiheuttaa ylimääräistä työtä. Vaatimus suunnittelun päämääränä on saavuttaa hyvä asiakas tyytyväisyys, parantaa kehitysprosessin tuottavuutta, estää ei haluttua projektin laajuuden ja vaatimusten muutoksia, sekä vähentää tuotteen ylläpitokuluja.**Error! Reference source not found.**

Esitetyn teorian mukaan vaatimussuunnittelu lähtee liikkeelle sidosryhmän tarpeista. Sidosryhmään kuuluu kaikki tahot joihin suunniteltava järjestelmä vaikuttaa. Kaikilla sidosryhmän jäsenillä on omat tarpeet järjestelmään liittyen. Tarpeiden määrittelyn jälkeen, ne analysoidaan ja muunnetaan vaatimuksiksi. Sidosryhmävaatimukset ovat tärkeä vertausarvo projektin myöhemmässä vaiheessa, jossa valmista projektia arvoidaan. Projektin onnistuminen riippuu siitä, kuinka hyvin valmis tuote vastaa sidosryhmävaatimuksia.**Error! Reference source not found.****Error! Reference source not found.**

Tässä työssä sidosryhmävaatimuksista muodostetaan järjestelmävaatimukset, jotka jakautuvat turvallisuus-, toiminnallisiin- ja ei-toiminnallisiin vaatimuksiin. Turvallisuusvaatimukset ovat otettu omaksi alueekseen, projektin luonteen ja motivaation ollessa turvallisuus lähtöinen.

3.1 Sidosryhmävaatimukset

Tämän projektin sidosryhmään kuuluu käyttäjä, tuotannon johto sekä yritys. Sidosryhmävaatimusten määrittely aloitettiin eri sidosryhmien tarpeiden listaamisella, jonka jälkeen ne analysoidaan ja jäsennellään vaatimuksiksi.

Taulukko 1. Sidosryhmävaatimukset eri sidosryhmien näkökulmista

käyttäjän vaatimukset	Tuotannon johdon vaatimukset	Yrityksen vaatimukset
Laitteiston tulisi olla ergonominen	Turvallisuuden tulee olla parempi kuin vanhalla laitteistolla	Projektin kustannukset tulisi olla mahdollisimman pienet
Testattava tuote tulee pystyä asettamaan ja liittämään testipenkkiin esteettä	Testin tulee sujua vähintään yhtä tehokkaasti kuin vanhalla laitteistolla	Projektin riskit minimoitava
Testattava tuote tulee pystyä irrottaa ja kuljettamaan pois testipenkistä esteettä	Uuteen laitteistoon siirtyminen tulisi tapahtua mahdollisimman lyhyellä häiriöajalla	Laitteen käyttöikä vähintään 10 vuotta
Tuotteen testaus tulee toimia vähintään yhtä vaivattomasti kuin vanhalla laitteistolla		
Käyttäjän tulee pystyä liikkumaan testipenkin ympäristössä esteettä		
Helpot huoltotoimenpiteet pystyttävä tekemään		

Taulukossa 1 nähdään sidosryhmien vaatimukset listattuna. Käyttäjän vaatimuksia on eniten, koska käyttäjällä on välitön kontakti järjestelmään. Käyttäjän vaatimukset keskittyvät enemmän järjestelmän käytettävyyteen, kun taas vastuu asemassa olevien tuotannon johdon sekä yrityksen vaatimukset turvallisuuteen.

3.2 Turvallisuusvaatimukset

Tässä työssä käytetään SFS-EN ISO 4413 Hydraulinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset **Error! Reference source not found.** standardia ohjenuorana suunnitteluvaiheen turvallisuusvaatimuksille. Turvallisuusvaatimukset ovat jaoteltu järjestelmän eri osaluille. Turvallisuusvaatimukset sisältävät sekä sidosryhmävaatimuksista johdettuja, että hydraulikan alaan liittyvistä asioista johdettuja vaatimuksia. Järjestelmän toimintaan liittyvät turvallisuusvaatimukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. *Järjestelmän toimintavaatimukset*

käyttöpainealue	Pääpainelinjoissa 400 bar, Korkeapainelinjoissa 600 bar, ohjauspainelinjoissa 80 bar
käyttölämpötila-alue	20-60 °C
käytettävän nesteen tyyppi	Shell Tellus S2 MX 46
tilavuusvirta-alue	1500 l/min
nostamista koskevat vaatimukset	Nostolenkit yli 15 kg esineisiin
vaatimukset koskien hätätilannetta, turvallisuutta ja energianlähteistä erottamista	Hätä-seis-painike sammuttaa kaikki pumput
maalaus tai suojaava pinnoite	Lohkoissa mustaus, jalustat maalattu

Taulukko 3. Turvallisuusvaatimukset komponenteille, kunnossapidolle sekä laitteille

Komponenttien valinta	Kunnossapito	Laitteet
Kaikki komponentit ja putket valittava niin että ovat turvalisia käytön aikana ja kaikissa käyttö tilanteissa	Nestehäviöt olisivat mahdollisimman vähäiset	Komponentit tulee olla käytettävissä ja asennettavissa valmistajan ohjeiden ja suositusten mukaisesti
Komponenttien vikaantumisesta aiheutuvat riskit minimoitava	Välttyminen säiliöiden tyhjenykseltä	Käytetään valmistajan ohjeiden ja suositusten mukaisesti
Komponentit ja putkistot tulee olla käytettävissä ja asennettavissa valmistajan ohjeiden ja suositusten mukaisesti	Välttyminen tarpeettomalta viereisten osien purkamiselta	Mahdolliset vuodot ei saa aiheuttaa vaaraa
Käytetään standardien mukaisesti valmistettuja komponentteja ja putkistoja	Mahdollisimman hyvä luokse pääsy	Tarkoituksen mukainen oikea toiminta
	Kaikki yli 15 kg osia pystytävä nostamaan nostovälineillä	Tuenta riippumaton putkista ja liittimistä
	Asennus pystyttävä tekemään turvallisesti esim. lattiatasolla	Venttiilien asennuspintojen oltava valmistajan suositusten mukainen
		Venttiilit asennettava lujasti
		Sisäiset kanavat oltava riittävän suuria tarkoittamattomien painehäviöiden minimoimiseksi
		Virtauskanavissa ei saa olla vieraita materiaaleja, kuten lastuja tai hiomajätettä
		Sähköiset liitännät oltava asi-aankuuluvien standardien mukaiset

Taulukko 4. Turvallisuusvaatimukset putkistolle, letkuille sekä paineen mittaukselle

Putkisto	Letkut	Paineen mittaus
Suunniteltava siten että käyttö askelmana tai tikkaina hankalaa	Voidaan käyttää, jos liitettävä osa vaatii siirtelyä	Paineen mittaukseen käytettävä sopivia painemittareita
Ei saa käyttää tukirakenteena	Oltava vähintään niin pitkiä, ettei suositeltua minimi taivutussädetä tiukempia mutkia synny	Maksimi käyttöpainetta pienempiä mittareita käytettäessä oltava mittarilla oma paineraja-/suojaventtiili
Helppo pääsy liitoksiin, jotta voidaan kiristää tarvittaessa	Letkujen kiertyminen mahdollisimman vähäistä käytön aikana	Mittaliitännät suunniteltava siten että mittalaite voidaan kytkeä turvallisesti ja nopeasti suurimmalla sallitulla työpaineella
Liitoksissa käytettävä asianmukaisia tiivistimiä	Letkut suojataan siten, että ulkokuoren kulumisen mahdollisimman vähäistä	
Liitinten paineen kesto oltava vähintään yhtä suuri, kuin järjestelmän suurin sallittu työpaine siinä osassa missä liitintä käytetään.	Letkuasennelma oltava tuettu, jos sen paino aiheuttaa liiallista rasitusta	
Putket tuettava turvallisesti, ottaen huomioon paine, tärinä, seinämän paksuus, melupäästöt ja kulkureitti	Jos letkuasennelman vaurioituminen voi johtaa piiskamaisen iskun vaaraan, on se kiinnitettävä tai suojattava sopivilla menetelmillä	
	Jos letkuasennelman vaurioituminen voi aiheuttaa nesteen purkautumisvaaran, on se suojattava sopivilla menetelmillä.	

Taulukot 2, 3 ja 4 sisältävät järjestelmän turvallisuuden kannalta tärkeitä vaatimuksia. Vaatimusten täyttämisen varmistaminen suunnitteluprosessin lopussa ja sen aikana on erityisen tärkeää. Taulukoista 2, 3 ja 4 huomataan, että turvallisuusvaatimuksia on suuri määrä verrattuna muihin vaatimuksiin. Tämä on hyvin linjassa projektin alkuperäisen motivaation kanssa.

3.3 Toiminnalliset vaatimukset

Toiminnallisten vaatimusten ideana on vastata kysymykseen: mitä järjestelmän pitäisi tehdä. Toiminnalliset vaatimukset ovat määritelty sidosryhmävaatimusten perusteella. Toiminnalliset vaatimukset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. *Toiminnalliset vaatimukset*

Toiminnalliset vaatimukset
Testipenkki yhdistyy testattavaan tuotteeseen, ja välittää sille öljyn painetta ja tilavuusvirtaa.
Laitteen käyttöikä tulisi olla vähintään 10 vuotta
Testaajan toiminnot tapahtuvat suojien ulkopuolelta, mahdollisimman useassa tapauksista.
Hydrauliikka järjestelmän osat sijaitsevat suojien sisäpuolella
Uuden järjestelmän komponentit mahtuvat uusien suojien sisään
Mahdolliset lisäoptiot otettava huomioon
Järjestelmän komponentit riittävän kaukana toisistaan

Toiminnalliset vaatimukset varmistavat, että suunnittelu vaiheessa otetaan huomioon järjestelmän toimintaan liittyvät oleelliset asiat. Toiminnalliset vaatimukset sisältävät järjestelmän kannata uusia asioita, kuten hydrauliikka järjestelmän osien sijainti. Toiminnalliset vaatimukset sisältävät myös perustavanlaatuisia vaatimuksia, kuten esimerkiksi koko testipenkin pää toiminta periaatteen, joka on syytä pitää mielessä suunnitteluvaiheen aikana.

3.4 Ei-toiminnalliset vaatimukset

Ei-toiminnallisten vaatimusten tarkoituksena on vastata kysymykseen: kuinka hyvin tuote toteuttaa kyseisen asian. Ei-toiminnalliset vaatimukset sisältävät järjestelmän yleis piirteitä ja spesifikaatioita.

Taulukko 6. *Ei-toiminnalliset vaatimukset*

Ei-toiminnalliset vaatimukset
Uusi testipenkki omaa vähintään samat toiminnot, kuin vanhassa
Liitäntöjen koot ja määrä vähintään samat, kuin vanhassa
Mahdollisimman kustannustehokas ratkaisu
Testattavan tuotteen liittäminen ja irrottaminen tulisi tapahtua mahdollisimman helposti ja nopeasti
Liitäntä rajapinnan tulee olla mahdollisimman monipuolinen ja joustava, jotta useat eri tuotteet saadaan liitettyä
Energian siirto tulisi tapahtua mahdollisimman tehokkaasti
Testaajan tulee pystyä liittämään testissä käytettävät letkut mahdollisimman ergonomisesti
Testaajan tulee pystyä käyttämään laitetta mahdollisimman tehokkaasti ja ergonomisesti

Taulukossa 6 on esitetty järjestelmän ei-toiminnalliset vaatimukset. Ei-toiminnallisiin vaatimuksiin kuuluu muassa liitäntöjen koot ja määrä oltava vähintään sama, kuin vanhassa järjestelmässä. Tämä vaatimus antaa hyvän lähtökohdan palkkien karkealle suunnittelulle, jossa hahmotellaan tulevien palkkien ulkoisia mittoja.

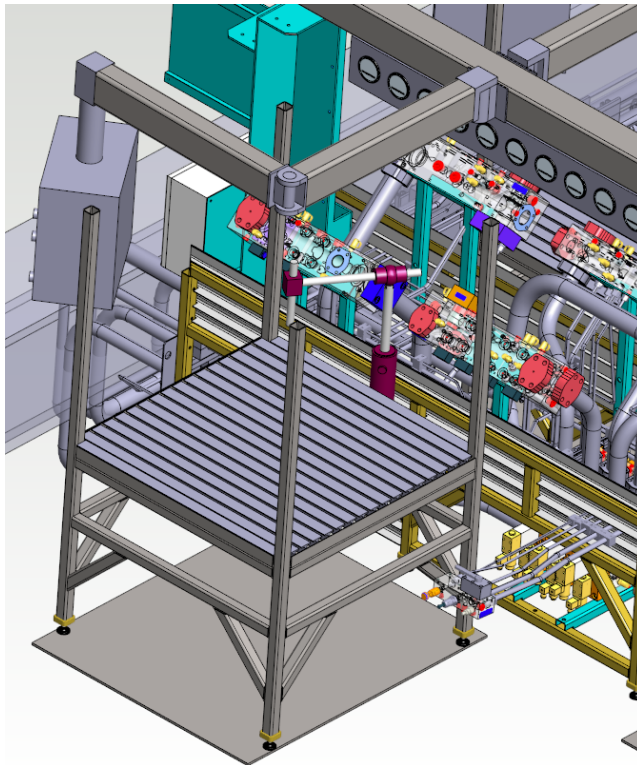
4. ANALYSOINTI JA KARKEASUUNNITTELU

Tämän luvun tarkoitus on esitellä suunnittelun vaiheet ja menetit. Suunnittelussa tehdään useita valintoja ja punnitaan eri vaihtoehtojen välillä. Suunnittelu parametrien yhteyksiä toisiinsa on syytä analysoida ja perustella tehtyjä päätöksiä.

4.1 Tarvittavat muutokset järjestelmän eri osa-alueisiin

Suurin vaikuttava tekijä hydraulikan suunnittelun osalta tulee olemaan testiasemien pöytien muuttuminen. Testiasemien rakenteiden suunnittelu tulee toiselta taholta, näin ollen hydraulikan suunnittelussa tulee olla yhteydessä rakenteiden suunnittelijaan ja toimia uusien rakenteiden aiheuttamien rajoitusten mukaisesti.

Kuvassa Kuva 4.1 näkyy projektipuolen uuden sivutestiaseman rakenne. Rakenteeseen kuuluu uusi kapeampi pöytä, jonka kolmelle sivulle tulee avattavat pleksiovet. Testipenkkiryhmän keskiosa suojataan myös plekseillä, siten että pöydän sisältä on kuitenkin pääsy keskelle. Kuvassa Kuva 4.1 näkyvä käyttöpaneeli on kiinnitetty nivellettyyn puumiin siten että se liikkuu pöydän ympäri. Mittarit tulevat riviin yläpalkin alle kiinni, josta ne näkyvät hyvin jokaiselle testipenki sivulle.

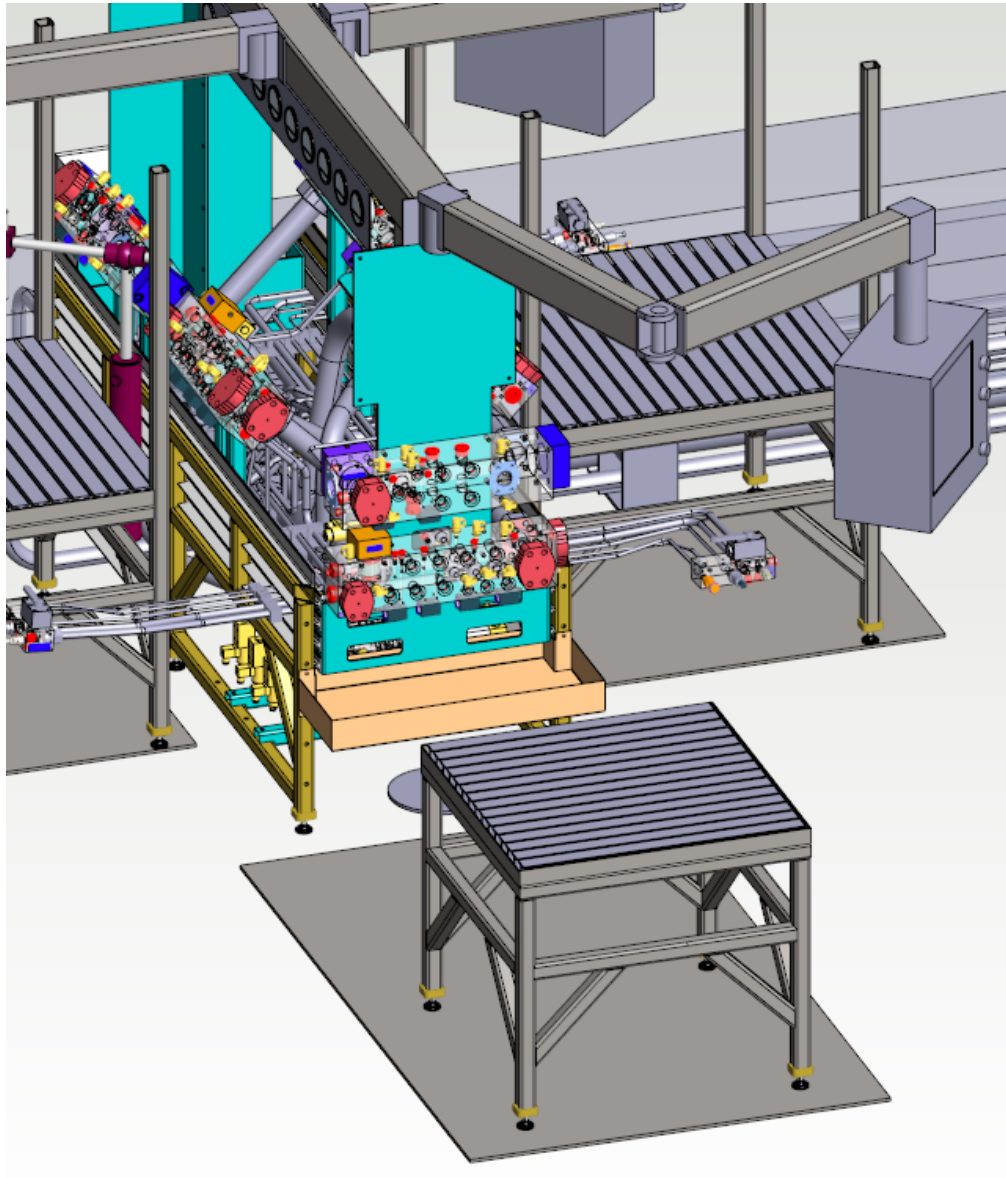


Kuva 4.1: Projektipuolen sivutestiaseman uudet rakenteet, vanhalla hydraulikalla

4.1.1 Venttiililohkot

Kuvasta Kuva 4.1 huomataan että nykyiset paine- ja tankkipalkit eivät ole helposti käytettävissä uuden testiasemarakenteen kanssa. Säättölohko vaatii myös uudelleen sijoittelua. Paine- ja tankkipalkit ovat testaajan kannalta erittäin tärkeitä hydraulisen rajapinnan osat. Testin alussa ja lopussa testaaja liittää ja irroittaa letkuja palkkeihin, joten liitännöiden sijainti ja asento on todella tärkeitä, jotta testaaja voi tehdä työnsä tehokkaasti.

Kuvassa Kuva 4.2 näkyy testiasemaryhmän päätyasema, jossa on käytössä samat paine- ja tankkipalkki kuin sivuasemillakin. Päätyaseman palkit mahtuvat uuden testipenkkirakenteen suojien sisälle, joten kustannustehokkain ratkaisu on säilyttää ne entisellään.



Kuva 4.2: Testipenkkiryhmän päätyasema

Sivutestiasemien venttiililohkot vaativat uudelleen suunnittelua, jotta ne saadaan mahtumaan uuteen rakenteeseen ja toimimaan tehokkaasti testaajan käytössä.

Sarjapuolella paine- ja tankkipalkit ovat hieman erilaiset, mutta ne suunnitellaan uudelleen samalla tavalla, kuin projektipuolen palkitkin. Sarjapuolen palkkeihin putket tulevat suoraan vaakatasossa, jolloin palkit ovat sijoitettu myös vaakatasoon.

4.1.2 Putket

Testipenkkiryhmän putkitus sisältää useita eri kokoisia putkia. Putkistoon tehtävät muutokset riippuvat suoraan uusista venttiililohkoista. Paine- ja tankkipalkkien sijaintien muuttuessa, putket joudutaan uusimaan. Taulukossa 7 esitetty projektipuolen testipenkkiryhmässä käytetyt putkikoot. Sarjapuolella putkikoot ovat pienemmät.

Taulukko 7. *Projektipuolen testipenkkiryhmän putkikoot*

linja	putki (ulkohalkaisija x seinämävahvuus [mm])	minimi taivutussäde [mm]
T	75x5.0	160
P2	66x8.5	165
P1	56x8.5	140
PP	22x2.0, 18x1.5	44, 36
DR	22x2.0, 15x1.5	44, 30
HP	12x2.5	24
TP	10x1.0	20

Taulukossa 7 nähtävät putken mitat kertovat niiden sisähalkaisijan, seinämän vahvuuden sekä pienimmän taivutus säteen putken keskilinjasta. Putken paineen keston vaikuttavat sekä sisähalkaisija, että seinämän vahvuus, sillä suurempi sisähalkaisija mahdollistaa paineen vaikutuksen suuremmalle pinta-alalle, jolloin seinämään kohdistuva voima on myös suurempi. Alan kirjallisuudessa esitetään, että suurempi putken sisähalkaisija aiheuttaa vähemmän painehäviötä nesteen virratessa, koska virtausnopeus pienenee ja näin ollen seinämissä tapahtuva kitka pienenee. Myös putkimutkien taivutussäteen ollessa suurempi, siitä aiheutuva painehäviö pienenee. **Error! Reference source not found.Error! Reference source not found.Error! Reference source not found.**

4.2 Karkea suunnittelu

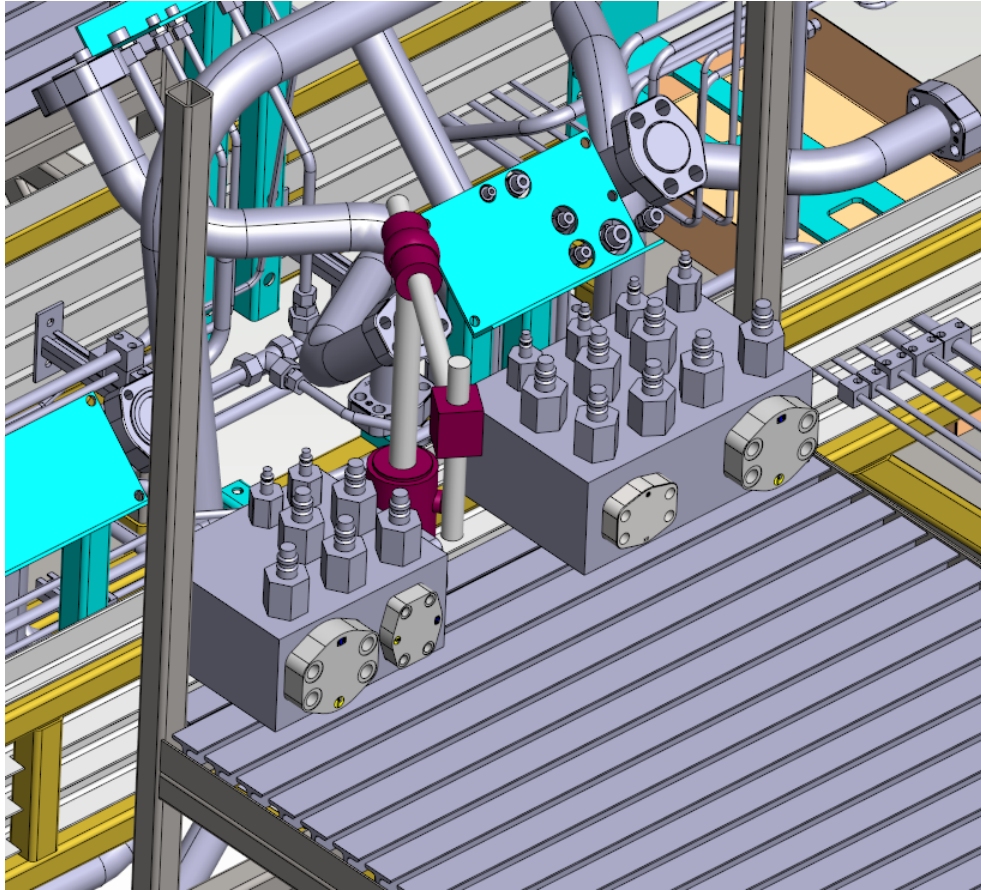
Suunnittelu toteutettiin vaatimuslähtöisesti. Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle testaajan näkökulmasta tärkeimmästä järjestelmän osasta, eli paine- ja tankkipalkeista. Karkean suunnittelun vaiheessa voitiin käyttää V-mallia ja hyödyntää haastattelua, ja konsultoida testaajia. Päätöksien osalta on syytä viitata vaatimuslistaan.

Palkit valmistettiin lohkotekniikalla, jossa teräsaihiosta työstetään lohko, jonka kyljille asennetaan komponentit. Komponenttien väliset kanavat porataan lohkoon. PSK standardin mukaan lohkotekniikalla saadaan järjestelmästä kompaktimpi, kun venttiilien väliset putkitukset vähentyvät. Lohkoja suunniteltaessa tulee ottaa huomioon käytettävän materiaalin korroosion suojaus, asennettavien komponenttien asennus pinnat ja pesät, työstöstä aiheutuvat epäpuhtaudet. [12]

4.2.1 Projektipuolen palkkien karkea suunnittelu

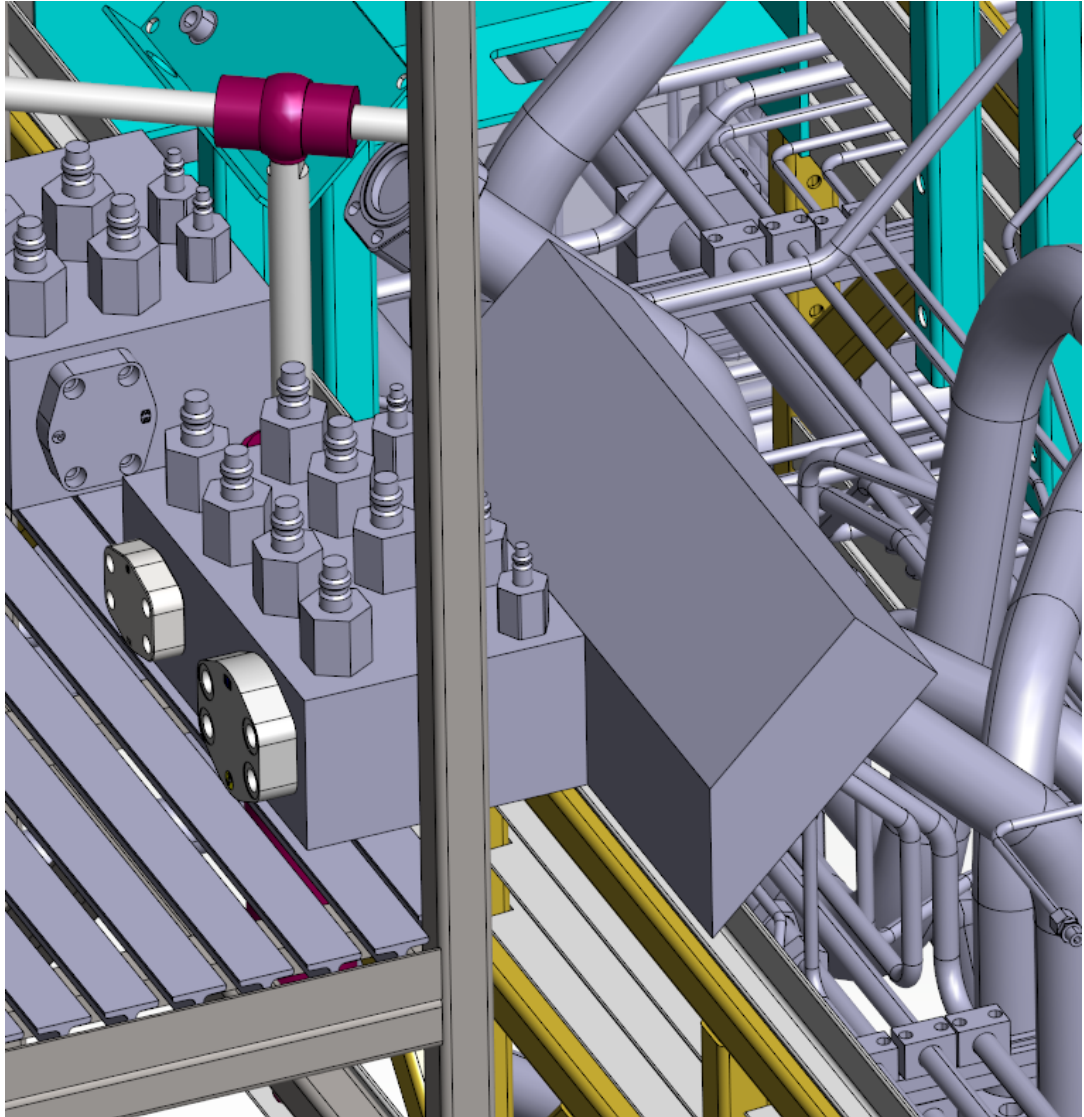
Palkkien suunnittelu aloitettiin mallintamalla pikaliittimet, joita testaaja käyttää liittääkseen testiletkut nopeasti. Palkkien lohkot hahmoteltiin sopivan kokoisiksi, jotta ne mahtuu uuden testipenkkirakenteen sisään. Liittimiä lisättiin sama määrä, kuin vanhoissakin palkeissa on. Pikaliittimet aseteltiin lohkon ulkopinnoille, siten että niitä on tehokas käyttää. Kuvassa Kuva 4.3 näkyy uudet palkit uuden testiaseman pöydän pylväiden välissä. Palkit sijoitettiin pöydän päälle, jotta liittimiä on helppo käyttää pöydän sivuovien kautta. Palkit ovat irti pöydästä, jotta pöytä voidaan huollon tarpeessa ottaa helposti pois.

Pikaliitinten asentoa mietittiin testaajien kanssa, ja päädyttiin pystyasennon olevan paras. Uudessa testipenkissä testaajalla on pääsy palkin viereen, ja letkut on helpoin asentaa pystyasentoihin pikaliittimiin. Letkut taipuvat myös paremmin lähellä olevaan testattavaan venttiilistöön, kun ne lähtevät suoraan ylöspäin, eivätkä esimerkiksi 45 asteen kulmassa. Kuvassa Kuva 4.3 näkyviä laippa lähtöjä käytetään vain erikoistapauksissa, siksi ne ovat tilansäästö syistä asetettu lohkon kylkeen. Testaaja voi käyttää laippalähtöä letkumutkan kanssa, jos letku halutaan lähtevän ylöspäin. Tämä mahdollistaa myös muut suunnat.



Kuva 4.3 Paine- ja tankkipalkkien hahmottelua

Liitinpalkkien sijainnin muuttaminen aiheutti sen, että linjojen yhdistäminen täytyi miettiä uudelleen. Linjat yhdistettiin liitinlohkoon toisella loholla. Vaihtoehtoina oli suunnitella yksinkertainen neliskanttinen lohko ja uusia putket, tai adapterilohko joka yhdistää uuden liitinlohkon vanhoihin putkiin. Kuvassa Kuva 4.4 näkyy hahmotelma painepalkin adapterilohkosta. Adapterilohkon avulla voitaisiin säästää vanhat putket, mutta lohkon aihio on suurempi ja sen työstöön kuluisi huomattavasti enemmän resursseja, kuin vastaavaan lohkoon joka vaatisi uudet putket. Adapterilohkon käyttö vaatisi myös lohkon peilikuvan suunnittelun testiasemaryhmän toista sivua varten. Kustannusarvio näiden kahden vaihtoehdon välillä oli tarpeellinen, mutta mahdollinen vasta myöhemmässä vaiheessa, jolloin tiedossa olisi lohkojen ja putkien tarkemmat mitat. Vertaillessa oli otettava myös huomioon painehäviöt, ja selvittää aiheuttaisivatko adapterilohkosta koituvat ylimääräiset mutkat liikaa haittaa järjestelmän energiatehokkuudelle.



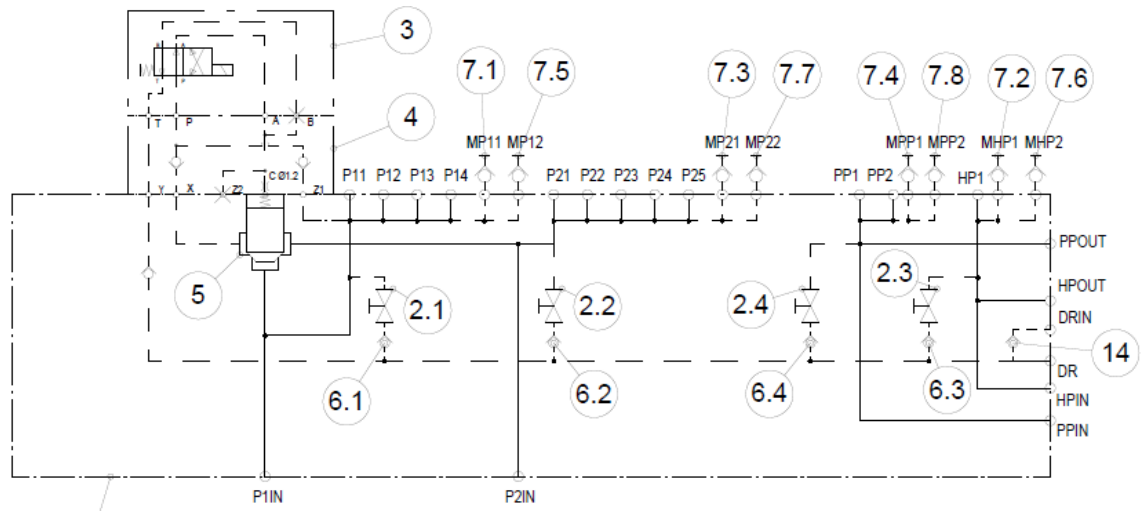
Kuva 4.4 Painevalkion adapterin hahmotelu

Alkuperäisissä valkeissa olevat venttiilit eivät mahdu hahmoteltuihin liitinlohkoihin, joten ne sijoitettiin adapterilohkoon. Venttiileiden sijainnilla ei uudessa järjestelmässä ole merkitystä käytön kannalta, koska ne tulevat olemaan sähköohjattuja, joten ne kannattaa sijoittaa mahdollisimman kauas testaajasta. Komponenttien sijoittelu rajataan lohkon päälli- ja takakyljille. Ulkonevat osat aiheuttaisivat tilaongelmia sivukyljillä kiinnityssylinterin vuoksi.

4.2.2 Projektipuolen painevalkion komponenttien valinta

Kuvassa Kuva 4.5 vanhan painevalkion hydraulikaaviossa näkyy toiminnot, jotka tulisi löytyä myös uudesta valkista. Komponenttien valinnassa tulee ottaa huomioon järjestelmän vaatimukset, kuten painetaso, tilavuusvirta, hinta, saatavuus, komponentin koko. Koska painetaso ja tilavuusvirrat säilyvät samana kuin vanhassa, ne voidaan jättää huomiotta. Hintaa ja saatavuutta tarkastellessa havaittiin, että

samojen osien käyttö on järkevää. Tässä vaiheessa suunnittelua ei myöskään havaita osien fyysisissä ominaisuuksissa mitään, mikä estäisi niiden käytön.

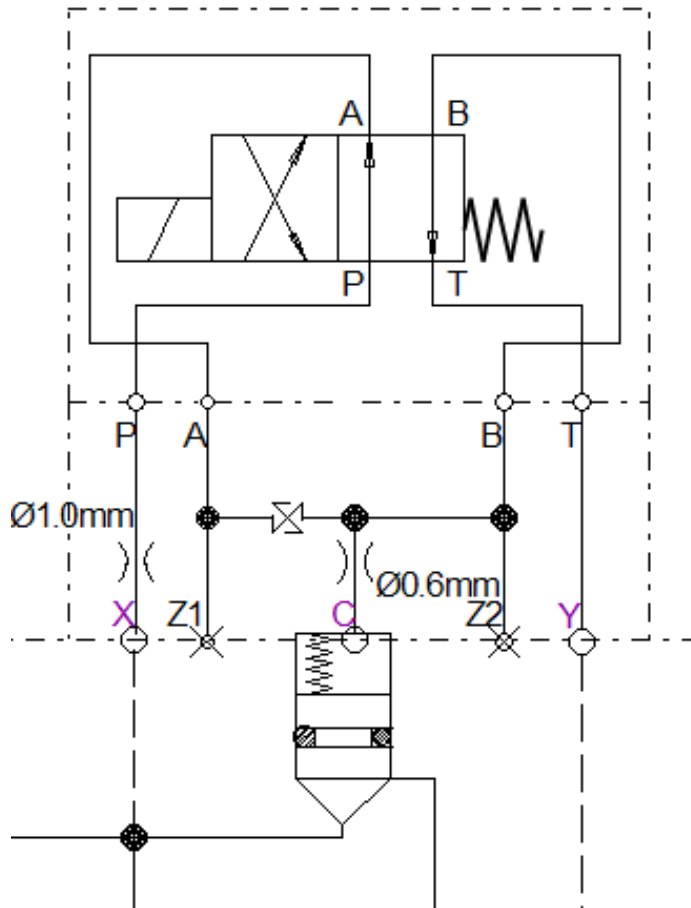


Kuva 4.5: Vanhan painepalkin hydraulikaavio

Ainoa poikkeus edellä mainittuihin komponentteihin on kuvassa Kuva 4.5 esitetty osa 2, joka on vapaakiertohana. Hanat tulisi muuttaa vaatimusten mukaisesti sähkökäyttöisiksi. Tähän tarkoitukseen soveltuu 2/2 suuntaventtiili, eli on/off venttiili. Erityis huomiona kuitenkin on että venttiililtä vaaditaan vuodottomuutta, joten karaventtiilit voidaan poissulkea. Vastaavanlaiset pallohanat sähköohjauksella ovat suuren kokoisia, vaativat paljon energiaa, joten niiden käyttö ei ole suotavaa. Ruuvattavat istukkaventtiilit ovat vuodottomia, mutta niissä ei riitä paineen kesto vaatimusten tasolle. Patruunaventtiileillä saavutetaan vuodottomuus, voidaan ohjata sähköisesti, jousen jäykkyydellä ja kuristimen koolla voidaan hienosäätää pehmeä sulkeutuminen. **Error! Reference source not found.** Valitaan pienin DIN16 kokoinen patruuna, koska tilavuusvirtavaatimus vapaakierrolle on erittäin pieni.

Valitaan Parker Industrial Hydraulics katalogista sopiva patruuna. CE016S07S00N on yleinen ja halpa patruuna. Patruunan karan avaamis pinta-alan ja jousitilan puoleisen pinta-alan suhde on 1:1,04, jolloin käytännössä karaa ei voi avata kyljen puolelta, tässä sovelluksella sillä ei kuitenkaan ole merkitystä **Error! Reference source not found.** Patruuna tarvitsee ulkoisen ohjauksen, joka onnistuu kannella johon asennetaan suuntaventtiili. Kanneksi soveltuu parhaiten C016CA99009999N, jossa pitkä numerosarja kertoo tulppien paikat. Kyseisessä mallissa tulppa asennetaan 1 paikalle, joka yhdistää A ja C linjat. C linja on patruunan päällä oleva ohjauspainelinja. Kannen päälle asennetaan yleinen D1VW020BNJW 4/2-suuntaventtiili, joka on sandwich laatta liitos kooltaan ng6. Kuvasta Kuva 4.6 nähdään, että kun venttiilikelalla on virta, C

linjaan nousee paine, eli patruuna sulkeutuu. Kun taas kela on virraton, vapautuu patruunan päältä paine ja se avautuu. Taulukossa 8 näkyy painepalkkiin valitut toiminnalliset osat.

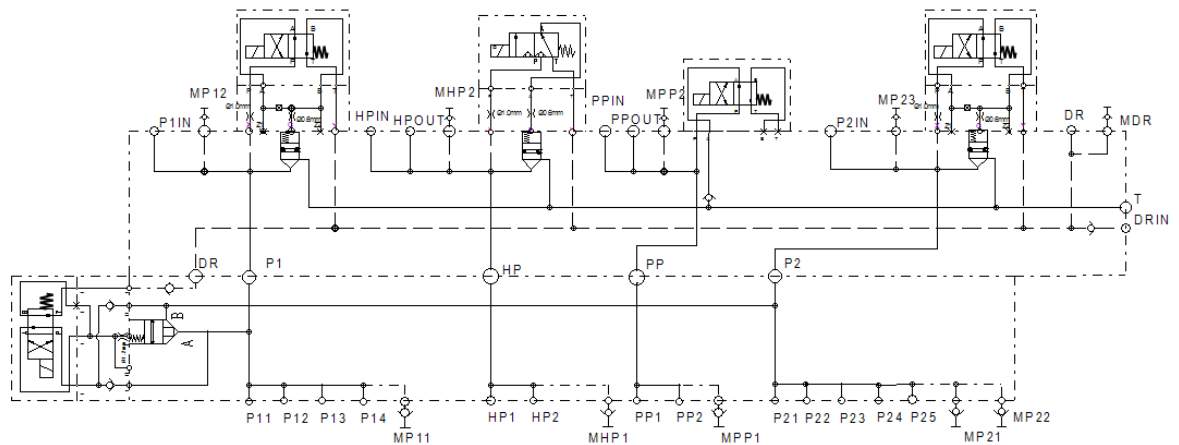


Kuva 4.6 Vapaakiertohanan korvaava patruunaventtiili sähköisellä ohjauksella

Taulukko 8. Painevalvurin osalista

Nimi	Selite	määrä
D1VW020BNJW	4/2 SUUNTAVENTTIILI	4
CRD32 B1 S311026	CRD 32 KANSI	1
CE032S04U00N	NG32 PATRUUNA 4BAR JOUSELLA	1
CE016S07S00N	NG16 PATRUUNA 1.6BAR JOUSELLA	3
C016CA99009999N	CRD 16 KANSI	2
RK1 HAWE	VASTAVENTTIILI	2
RB1 HAWE	VASTAVENTTIILI	1
WVM-4B-3/2-NL-24-BI-V-A-00	3/2 SUUNTAVENTTIILI	1
COVER NG16 630BAR	PATRUUNA KANSI	1

Taulukossa 8 näkyvät toiminnalliset osat ovat valittu linjojen painetasojen ja virtauksen mukaisesti. Pääpaine-linjoissa vapaakiertoventtiilien esiohjauksessa on käytetty Parkerin D1VW020BNJW suuntaventtiiliä, kun taas korkeapaine-linjassa vapaakierron esiohjausventtiilinä on Bierin WVM-4B-3/2-NL-24-BI-V-A-00, koska sen luokitettu paine on korkeampi. Ohjauspaine-linjassa on käytetty pelkkää Parkerin suuntaventtiiliä, koska kyseisessä linjassa suuntaventtiilistä aiheutuvasta karavuodosta ei aiheudu ongelmia. Patruunan puuttuessa alkuperäinen vastaventtiili säilytettiin ohjauspaine-linjassa.



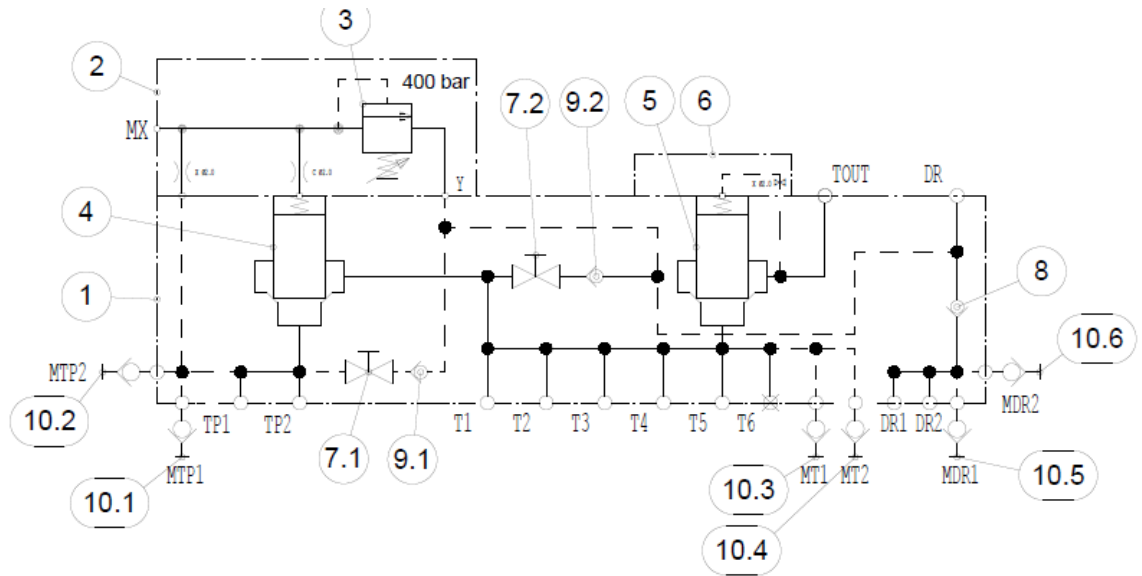
Kuva 4.7 Projektipuolen painepalkin uusi hydraulikaavio

Kuvassa 4.7 nähdään projektipuolen uuden painepalkin hydraulikaavio. Kaaviosta nähdään että vapaakierto hanat ovat korvattu patruunaventtiileillä, joita esiohjataan sähköisellä suuntaventtiilillä. Vanhassa painepalkissa olleet vapaakiertojen vastaventtiilit poistettiin, koska uudet patruunat hoitavat saman toiminnon. Vanhan painepalkin vapaakierrat yhdistivät painelinjojen paineen drain-linjaan, joka on testipenkkien turvallisuuden ja toiminnan kannalta huono asia. Drain-linjaan ajettaessa suuria tilavuusvirtauksia, putkiston painehäviö aiheuttaa paineen nousun drain-linjassa. Paineen nousu drain-linjassa vaikuttaa joidenkin venttiilien säätöarvoihin. Osa venttiileistä ei kestä suurta painetta drain-linjassa, joka aiheuttaa tässä tapauksessa turvallisuus riskin. Näistä syistä päädyttiin ohjaamaan vapaakierto-linjat tankkiin. Tankki-linjalle jouduttiin tekemään uusi lähtö, jota ei nykyisessä järjestelmässä ole. Uusi tankki lähtö yhdistetään tankkipalkkiin tehtävään uuteen tankki tuloon putkella.

4.2.3 Projektipuolen tankkipalkin komponenttien valinta

Tankkipalkille tehdään sama operaatio, kuin painepalkillekin. Kuvasta Kuva 4.8 näkyy, että tankkipalkissa on myös hanoja, jotka muutetaan sähköisiksi samalla

tavalla kuin painepalkissakin. Kuvassa Kuva 4.8 näkyvä osa 4 on kuormituspatruuna, joka voidaan säilyttää uudessa palkissa sellaisenaan. Myös vastaventtiilipatruuna osa 5 voidaan säilyttää samana, kuten myös kannet 2, 6 sekä paineenrajoitusventtiili 3. Drain linjassa oleva vastaventtiilipatruuna 8 voidaan myös pitää samana.

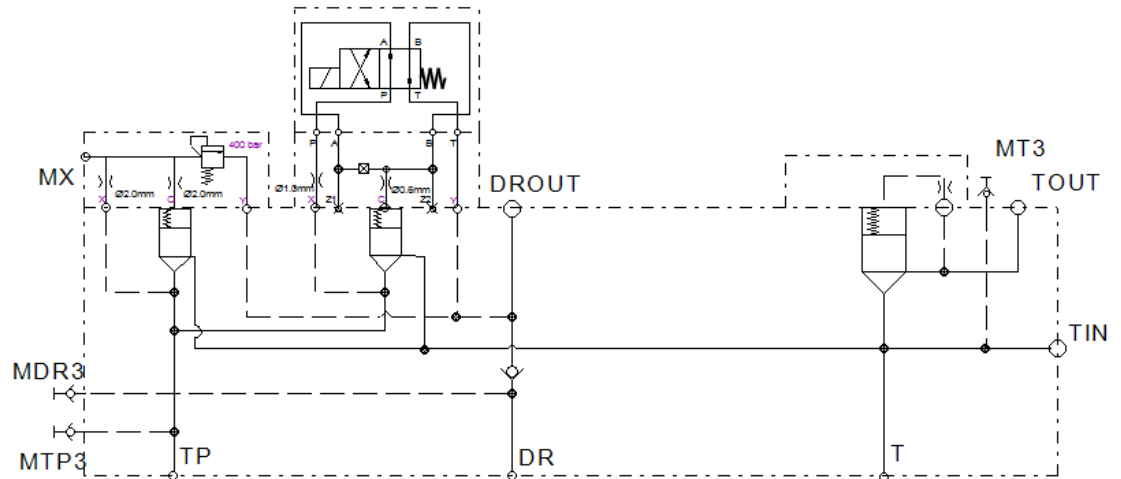


Kuva 4.8: Tankkipalkin hydraulikaavio

Taulukko 9. *Tankkipalkin osalista*

Nimi	Selite	määrä
CRD50 R6S AN X20C20	PATRUUNA KANSI	1
CRD50 C1 AN X20	PATRUUNA KANSI	1
DDPC-1L-4-42-S-2 (420BAR)	PAINEENRAJOITUSVENTTIILI	1
CE50C07U00N	DIN50 PATRUUNA 4BAR JOUSELLA	1
CE50C01N00N	DIN50 PATRUUNA 0.5BAR JOU- SELLA	1
D1VW20BNJW	4/2 SUUNTAVENTTIILI	1
CEL15 R05 AN XX	VASTAVENTTIILI PATRUUNA	1
CE016S01S00N	NG16 PATRUUNA 1.6BAR JOU- SELLA	1
C016CA99009999N	CRD 16 KANSI	2

Taulukossa 9 nähdään uuden tankkipalkin toiminnallisten osien lista. Kuvan 4.8 osa 4 kuormitus patruunan kara muutettiin erilaiseksi. Uuden karan pinta-ala suhde on 1:0.96, joka tarkoittaa sitä että auetessaan karan pinta-ala kasvaa, jolloin karan liikkeeseen muodostuu pieni hystereesi. Hystereesi aiheuttaa sen että kara ei lähde hallitsemattomasti liikkumaan edestakaisin, ja näin kulu ennen aikaisesti.



Kuva 4.9 Projektipuolen tankkipalkin uusi hydraulikaavio

Kuvassa 4.9 nähdään projektipuolen uuden tankkipalkin hydraulikaavio. Kaaviosta nähdään, että vapaakiertohana on korvattu esiohjatulla patruunaventtiilillä, ja se on ohjattu tankkiin drainin sijasta. Tankki-linjaan yhdistyy myös TIN liitäntä, johon on tarkoitus liittää painepalkin vapaakiertojen tankki-linja. Kyseiset tankkilinjat yhdistyvät tankkipalkin vastaventtiilin kärkipuolelle, jotta ylimääräisiltä öljyvuoodoilta vältetään asennus- ja kunnossapito tehtävien aikana.

4.2.4 Sarjapuolen painepalkin komponenttien valinta

Sarjapuolen painepalkissa on samat toiminnot, kuin projektipuolellakin. Yhteiskäyttö patruuna on pienemmän kokoinen, kuin projektipuolen painepalkissa, koska sarjapuolella tilavuusvirta on paljon pienempi. Yhteiskäyttöpatruuna on malliltaan sellainen, jota ei ole nykyisin enää saatavilla, joten se vaihdetaan vastaavan kokoiseen DIN-patruunaan. Vapaakiertohanat korvataan sähköohjatuilla patruunaventtiileillä täysin samoilla komponenteilla, kuin projektipuolen palkeissakin. Taulukossa 10 on listattu uuden sarjapuolen painepalkin komponentit.

Taulukko 10. Sarjapuolen painepalkin osalista

Nimi	Selite	määrä
CRD32 B1 AN C12B00	CR KANSI	1
CE032S04U00N	PATRUUNA	1
D1VW020BNJW	4/2 SUUNTAVENTTIILI	4
CE016S07S00N	NG16 PATRUUNA 1.6BAR JOU-SELLA	3
C016CA99009999N	PATRUUNA KANSI	2
RK1 HAWE	VASTAVENTTIILI	1
RB1 HAWE	VASTAVENTTIILI	1
WVM-4B-3/2-NL-24-BI-V-A-00	3/2 SUUNTAVENTTIILI	1
COVER NG16 630BAR	PATRUUNA KANSI	1

4.2.5 Sarjapuolen tankkipalkin komponenttien valinta

Sarjapuolen tankkipalkissa on samalla tavalla vastaavat toiminnot, kuin projektipuolella, mutta patruunoiden koot ovat pienempiä, tilavuusvirran ollessa pienempi. Toisin kuin projektipuolella, tankkilinjassa on rinnakkain kaksi vastaventtiilipatruunaa. Patruunat ovat keskenään samat, jolloin ne mahdollistavat nesteen virtauksen kummankin läpi yhtäaikaaisesti. Uuteen tankkipalkkiin vaihdetaan vastaavan kokoiset DIN-patruunat, vanhojen patruunamallien ei ollessa saatavilla. Sarjapuolen tankkipalkissa on ainoastaan yksi hana, joka vapauttaa kuormatankkilinjan paineen drain-linjaan. Tämä hana korvataan patruunaventtiilillä, samalla tavalla kuin yllä mainitut hanat, mutta paineen vapautus tapahtuu tankki-linjaan. Taulukossa 11 on listattu uuden sarjapuolen tankkipalkin komponentit.

Taulukko 11. Sarjapuolen tankkipalkin osalista

Nimi	Selite	määrä
D1VW20BNJW	4/2 SUUNTAVENTTIILI	1
CE016C01S00N	NG16 PATRUUNA 1.6BAR JOU-SELLA	1
C016CA99009999N	CRD 16 KANSI	1
CE25C07U00N	KUORMAPATRUUNA	1
CRD25 R6S AN X12C10	CRD 25 KANSI	1
CE32C01N00N	VASTAVENTTIILIPATRUUNA	2
CRD32 C1 AN C12	CRD 32 KANSI	2
CEL15 R05 AN XX + 441957	VASTAVENTTIILIPATRUUNA	1

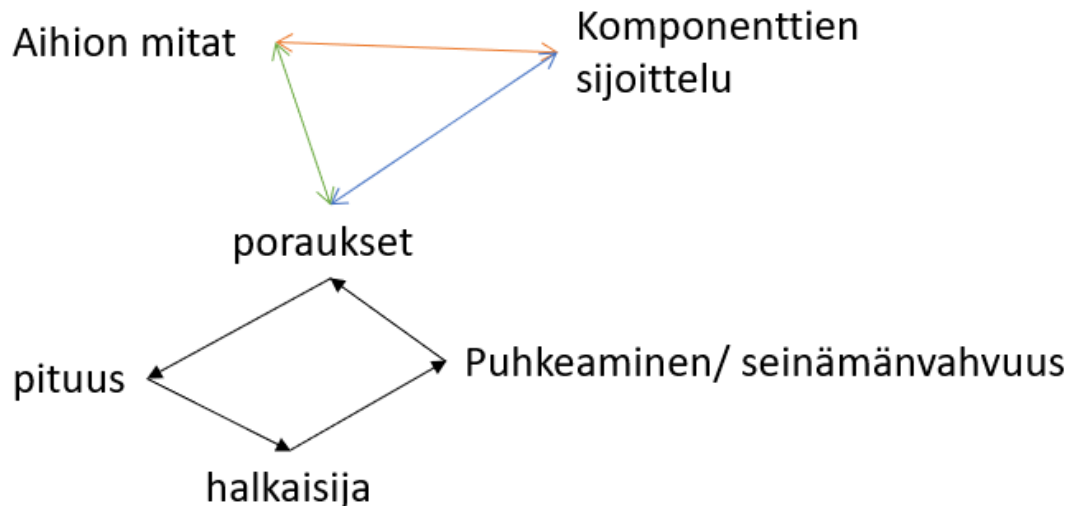
5. HYDRAULIIKKA KOMPONENTTIEN SUUNNITTELU

Hydraulistenventtiililohkojen suunnittelu lähtee liikkeelle kaaviosta, joka esittää venttiilistön osat, kanavat, liitännät, ja siten myös toiminnan. Tässä työssä kaaviot suunniteltiin karkeansuunnittelun vaiheessa. Kaavion ollessa valmis, tiedettiin tarvittavien komponenttien toiminnot. Komponentit valittiin hinnan, saatavuuden ja fyysisten ominaisuuksien perusteella. Komponentit ja liitännät sijoitellaan teräksestä työstettävän neliskanttisen lohkon pinnalle, ja joissakin tapauksissa sisään.

Lohkon ulkomitat määräytyvät ensisijaisesti käyttötarpeen mukaan. Tässä työssä uuden testipenkkirakenteen tilarajoitteet määrittävät ulkomittojen maksimi-arvot. Lohkon mitat tulisivat olla mahdollisimman lähellä valmiiden aihoiden mittoja, jotta säästytään turhalta työstöltä.

Kun komponentit ja liitännät ovat sijoiteltu lohkon kyljille, ne yhdistellään porauksilla toisiinsa kaavion mukaisella tavalla. Porauksien määrää pyritään minimoimaan, joten tässä vaiheessa yleensä huomataan järkevämpiä tapoja sijoitella komponentteja. Porauksen halkaisijan ja pituuden rajoittaa käytettävissä olevat terät, jotka löytyvät taulukosta ja niitä tarkastellaan suunnittelu prosessin aikana.

Edellä mainituista prosessin osa-alueista syntyy iteratiivinen silmukka, joka optimoi komponenttien sijoittelua, ja näin ollen venttiililohkoa paremmaksi. Kuvassa 5.1 on havainnollistettu venttiililohkon suunnitteluprosessi. Prosessissa komponenttien sijoittelulla optimoidaan porauksien määrää ja pituutta, sekä aihion mittoja. Yksittäisiä porauksia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon virtaus, puhkeaminen haluttuihin kanaviin, tarpeellinen seinämävahvuus muihin kanaviin sekä poranterät. Näillä seikoilla on suuri merkitys optimoitaessa järjestelmän energiatehokkuutta, valmistusnopeutta ja kustannuksia. Tämä suunnitteluprosessin osa jatkuu, niin kauan kunnes venttiililohko on sille asetettujen vaatimusten mukainen.



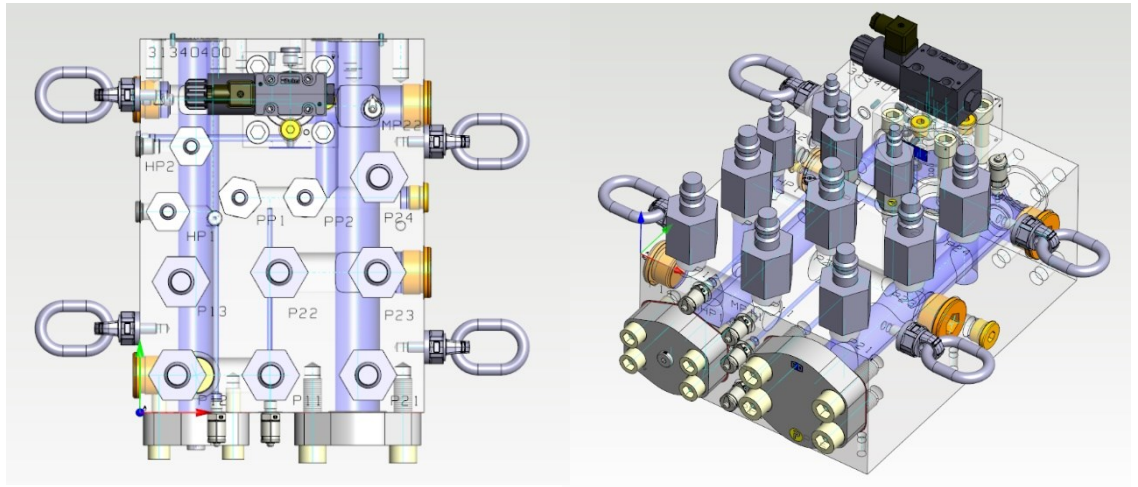
Kuva 5.1: Venttiililohkon suunnittelu

Lohkoon porattavien kanavien tärkeimmät ominaisuudet ovat virtaus sekä paineen kesto. Alan kirjallisuuden mukaan nesteen virtauksesta aiheutuu painehäviötä. Painehäviötä kanavassa voidaan vähentää kasvattamalla kanavan halkaisijaa, sekä minimoimalla mutkat ja kanavan pituus. Putkimutkissa painehäviöt muodostuvat nesteen ja seinämän välisestä kitkasta, sekundääri virtauksen pyörteiden ja seinämien kitkasta sekä mutkasta aiheutuvasta paine-erosta ulko- ja sisämutkan välillä. **Error! Reference source not found.** Kanavien paineenkesto riippuu seinämänvahvuudesta muihin kanaviin tai lohkon ulkoseinämyyn, mitä suurempi seinämän vahvuus sen parempi paineen kestokyky. Tämän työn kannalta oleellista on minimoida porausten lukumäärä, joka minimoi myös kanavien mutkien lukumäärät, sekä maksimoida porausten halkaisijat. Porausten halkaisijoita maksimoidessa seinämän vahvuudet tulee olla tarpeeksi suuret, jotta luvussa 3.2 listatut turvallisuusvaatimukset täyttyvät.

5.1 Projektipuolen palkit

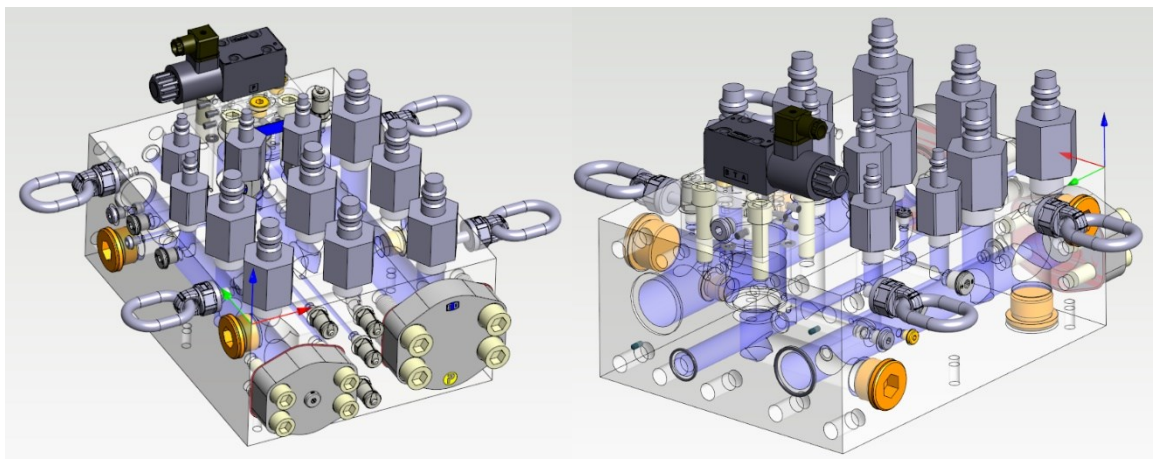
Projektipuolen painepalkin liitin osan suunnittelu alkoi karkean suunnittelun vaiheessa, jossa sille määriteltiin liitinten sijaintia ja ulkomittoja. Tarkempi suunnittelu alkoi aihion valinnalla, jossa ahioksi valikoitui 304 mm x 166 mm, josta sahataan 400 mm pitkä. Painepalkki piti tehdä kahdesta osasta, koska järkevän kokoista ahiota ei ollut saatavilla, johon olisi saanut mahtumaan kaikki komponentit. Todennäköisesti suuremmassa aihiossa olisi myös ilmennyt ongelmia porauksien pituuksien kanssa. Komponenttien sijoittelussa käytettiin karkean suunnittelun vaiheessa määriteltyä

sijoittelua ohjenuorana. Kuvassa 5.2 nähdään liitinten ja yhteiskäyttöpatruunan sijoittelu.



Kuva 5.2: Komponenttien sijoittelu painepalkin pikaliitinlohkossa

Painepalkin liitin osaan tulee liitinten lisäksi myös yhteiskäyttöpatruuna. Pikaliittimet sijoiteltiin lohkon yläpinnan etuosaan, josta niitä on helppo käyttää. Liittimet ovat suorassa rivissä, jotta ne on helppo yhdistää yhdellä kyljestä tulevalle porauksella. Laippa liitokset ovat päädyssä, josta ne ovat helppo yhdistää suoraan takakyljestä tuleviin kanaviin. Mittaliitokset ovat sijoitettu paikoille, joista niitä olisi helppo käyttää ja yhdistyminen kanavaan menisi yhdellä porauksella. Kuvassa 5.2 nähdään myös suunnitellut poraukset. Punaiset poraukset ovat painelinjoja, oranssi ohjauspainelinja ja vaaleansininen draininja. Porauksia suunnitellessa on tarkasteltu ettei seinämän vahvuus jää alle 5 mm kanavien välillä. Kuvan 5.3 oikeanpuoleisessa näkymässä näkyy o-rengas upotukset, joiden tarkoitus on toimia rajapintana toiselle lohkolle.



Kuva 5.3 Painepalkin poraukset

Toiselle lohkolle valitaan aihiksi 222 mm x 170 mm kokoinen, joka sahataan 400 mm:n pituiseksi. Lohko asetetaan niin että 400 mm:n pituinen kylki on saman suuntainen kuin toisenkin lohkon vastaavan mittainen kylki. 222 mm pitkä kylki tulee pystyyn. näin saadaan hyvin tilaa vapaakiertopatruunoille ja takakyljen liitoksille. Lohkon takakyljellä on kaikki samat liitännät kuin vanhassakin painepalkissa. Liitäntöjen sijainnit ovat muuttuneet, joten niihin kiinnittyvät putket joudutaan uusimaan. Lohkon päälle on sijoitettu vapaakiertopatruunat, niiden kannet ja suuntaventtiilit, sekä vastaventtiilit. Lohkot kiinnitetään toisiinsa pulteilla, joiden mitoitus on tarkasteltu luvussa 5.10.

Vapaakiertopatruunat sijoiteltiin riviin, jolloin drainlinjat ovat helppo yhdistää yhdellä porauksella. Vapaakiertopatruunat sijoitetaan sivusuunnassa sen oman linjan kohdalle, jolloin voidaan porata suoraan patruunapesän pohjasta haluttuun linjaan. Poikkeuksena P1 linjan patruuna jouduttiin asettamaan sivuun, korkeapainelinjan ollessa P1 linjan yläpuolella. P1 linjan vapaakiertopatruunan poraukset toteutettiin kyljestä apuporauksilla.

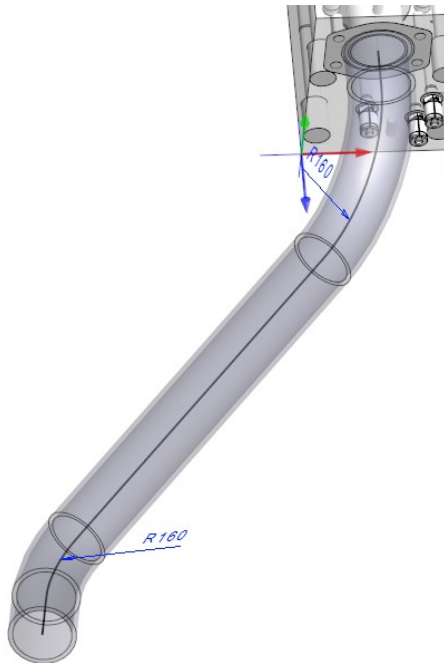
Projektipuolen tankkipalkin suunnittelu lähti liikkeelle samalla tavalla, kuin painepalkin suunnittelukin. Liitin osan aihiona käytetään samaa 304 mm x 166 mm kokoista, sahattuna 220 mm:n pituiseksi. Pikaliittimet ovat sijoitettu samalla tavalla lohkon päälle, ja laippaliitoksetkin lohkon pätyyn. Toisen lohkon aihiksi valikoitui 278 mm x 262 mm kokoinen sahattuna 304 mm:n pituiseksi. Lohkon koko määräytyi kuorma- ja vastaventtiilipatruunoiden koon mukaan. Patruunat sijoiteltiin tavalla, jolla kanavat voitiin vetää mahdollisimman yksinkertaisesti. Vapaakiertopatruunat kansineen ja suuntaventtiileineen on sijoitettu lohkon pääli- ja takakyljille. Takakyljellä on samat liitokset kuin vanhassakin tankkipalkissa.

5.2 Putket

Uusien lohkojen yhteydessä on uusittava kaikki putket. Putkien koot vaihtelevat 10x1.0 – 75x5.0 mm välillä. Suunnittelun kannalta tärkeimmät putket ovat T-, P2- ja P1-linjojen putket, sillä kyseisten linjojen painehäviöillä on suurin merkitys järjestelmän toiminnan kannalta. Putkien mitoituksessa on tärkeää, että paineenkesto on vähintään vaatimusten mukainen. Eri kokoisilla putkillla on omat pienimmät taivutussäteet, joiden mukaan niitä on mahdollista taivuttaa.

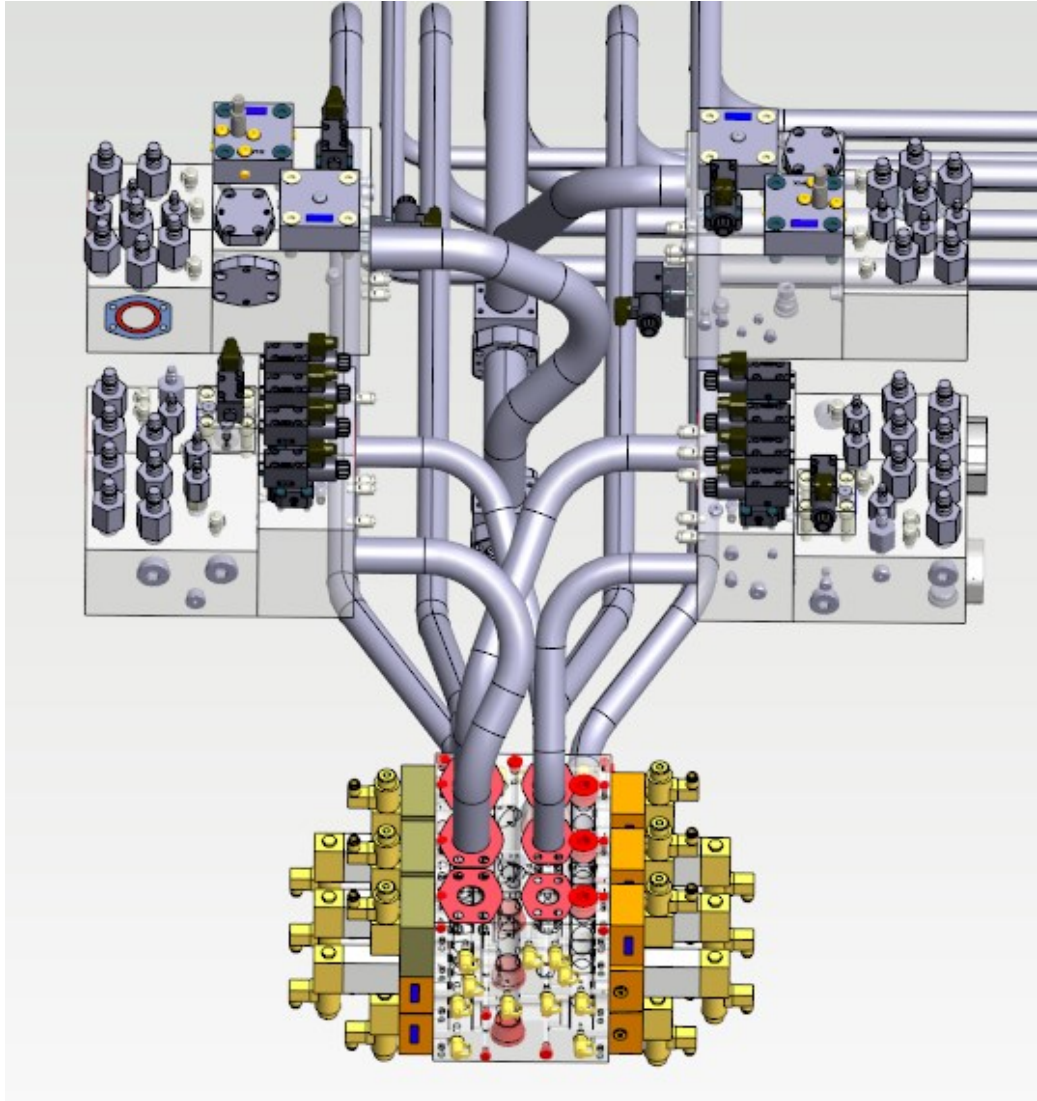
Jokaista putkea suunnitellaan kaksi kappaletta, yksi testipenkkiryhmän molemmille puolille. Putkien lähtö pitää olla kohtisuorassa lohkon pintaan verrattuna. Jokaisen putken päät ovat keskenään 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden, ja ne eivät sijaitse

samassa tasossa, joka tarkoittaa sitä että putkiin täytyy tehdä vähintään kaksi mutkaa. Kuvassa 5.4 nähdään tankkipalkin toisen putken 3D luonnos. Putken voidaan ajatella muodostuvan viidestä osasta, päissä olevat suorat osat, mutkat ja keskellä oleva suora osa. Luonnosta tehtäessä määritellään putken päätepisteistä lähtevät suorat kohtisuoriksi asennuspintojen kanssa. Suorien päistä alkaa mutka, jonka taivutus säde kyseiselle putkikoolle löytyy taulukosta 7 luvusta 4.1.2. Tässä tapauksessa tankkiputken taivutussäde on 160 mm putken poikkileikkauksen keskeltä. Mutkien väliin tulee suora. Määriteltäessä putki tällä tavalla, saadaan mutkien asteluku minimoitua asettamalla putken päissä olevat suorat mahdollisimman lyhyiksi. Minimoidaessa putkimutkan asteluku, minimoidaan myös painehäviö. Putken päihin tulee jättää tietyn verran suoraa osuutta laippoja varten.



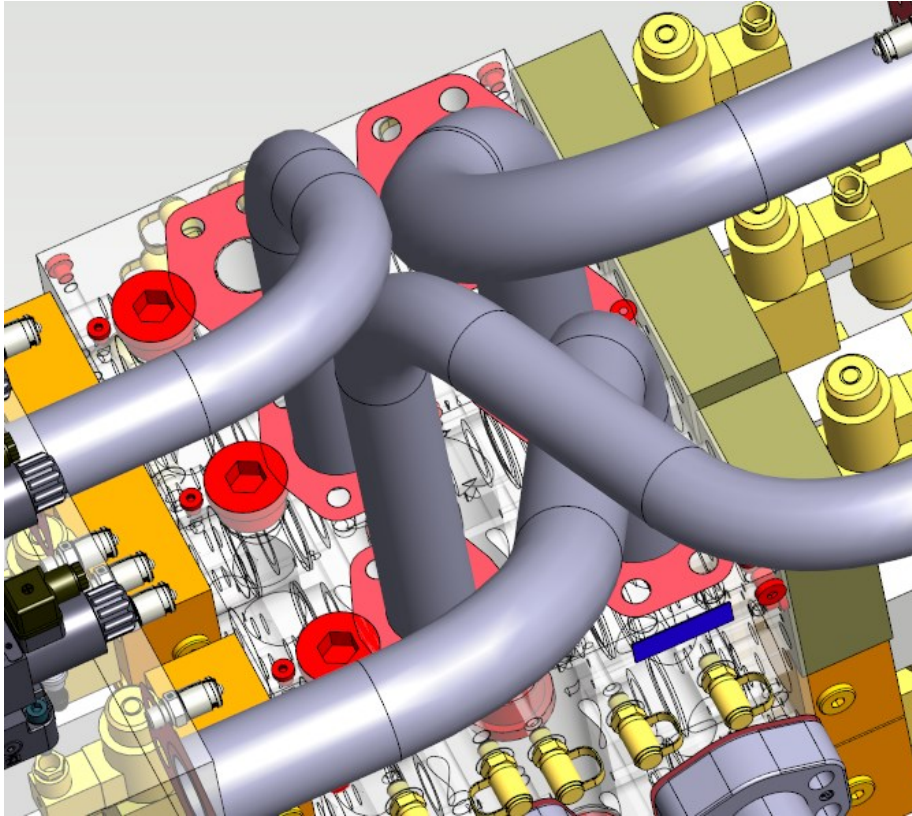
Kuva 5.4: Putken 3D luonnos

Kuvasta 5.5 nähdään uudet putket, joista tankkiputket onnistui ilman ongelmia. Toinen tankkiputki jouduttiin tekemään kolmella mutkalla, koska laipan vaatima alku suora palkin päässä sekä mini taivutus säde yhteenlaskettuna ylitti putken alapään kiinnityskohdan. Kuva 5.5 paineputkista taaemmaiseta P2- ja P1-linjojen putket menevät ristiin, jolloin vähintään toisesta on tehtävä hieman epäoptimi. Ohuemman P1-linjan putken muokkaamisesta ei ole hyötyä, sillä alapään suoran osuuden pidentäminen aiheuttaa törmäyksen Kuva 5.5 etualalla näkyvän P2-linjan putken kanssa. Kasvattamalla Kuva 5.5 etualalla olevan P2- ja P1-linjojen putkien alapään suorien osuuksien pituuksia mahdollisimman pitkiksi, saadaan tilaa taaemmalle P1-linjan putkelle.



Kuva 5.5: Paine- ja tankkipalkkien uusien putkien hahmottelua

Kuva 5.6 nähdään että putket sopivat toistensa ohitse erittäin niukasti. Kuva 5.6 keskellä näkyvä P1-linjan putki ohittaa molemmat P2-linjan putket alle 1 mm:n etäisyydeltä. Virhemarginaalin ollessa näin pieni, on syytä punnita muita vaihtoehtoja. Vaihtoehtoja ongelman korjaamiseksi olisi lisätä osaan putkista yksi mutka lisää tai siirtää palkkeja pois päin toisistaan. Mutkien lisääminen monimutkaistaa putkea, ja lisää painehäviötä ja hintaa. Palkkien siirtäminen ei aiheuta kustannuksia tässä vaiheessa suunnittelua, sekä vähentää painehäviöitä loiventamalla putkimutkia. Tässä vaiheessa on syytä palata taaksepäin suunnittelu prosessissa, ja tarkistaa onko lohkojen siirtämiselle mitään estettä.



Kuva 5.6: Paineputkien sovitus

Palkkien tämän hetkiset sijainnit perustuivat karkeantason suunnittelun vaiheissa tehtyihin päätöksiin, jotka on esitelty luvussa 4.2. Palkkien sijainnit olivat päätetty käyttäjämukavuutta ja testipöydän tilaa ajatellen. Palkkien tullessa ulommaksi, liittimet ovat helpommin käytettävissä, mutta testipöydän tila pienenee. Kuitenkin jos tila pienenee liikaa voidaan pöytää vielä siirtää ulommaksi. Eli palkkeja voidaan siirtää vapaasti kauemmaksi toisistaan.

Palkkeja siirrettiin 25mm ulospäin, eli keskelle tuli yhteensä 50mm lisää tilaa. Vaikutus putkien sovitukseen oli huomattava. Pienin putkien välinen etäisyys kasvoi yli 9mm:in. Toisessa tankkiputkessa ja toisessa P2-linjan putkessa ylimääräiset mutkat vähenivät huomattavasti.

5.3 Kustannusarvio

Putkien tarkkojen mittojen ollessa tiedossa, tehtiin niistä tarkka hinta-arvio. Putkien hinta-arviota verrattiin karkean suunnittelun vaiheessa läpikäytyyn vaihtoehtoon, jossa käytettäisiin olemassa olevia putkia, mutta valmistettaisiin suurempi lohko putkien ja liitinlohkon väliin.

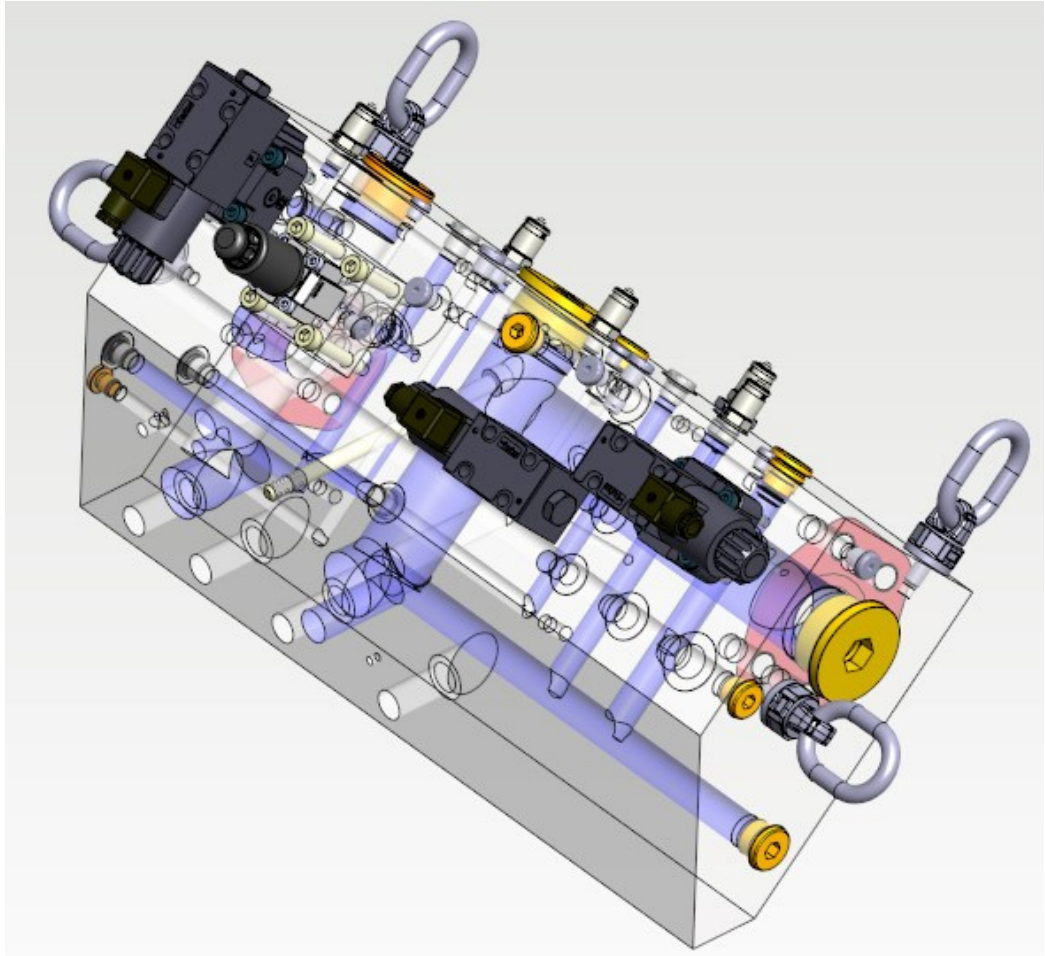
Näiden kahden vaihtoehdon erot, jotka aiheuttavat kustannuksia ovat: putket, lohkon koko, lohkon valmistus. Vertaillen kustannuksia selvisi, että halvemmaksi tulee

säilyttää vanhat putket ja tehdä suurempi lohko. Yksi tärkeä seikka myös näiden kahden verailussa oli, että putket joudutaan tilaamaan talon ulkopuolelta, kun taas lohkon koneistus tehdään omassa tehtaassa. Uusien putkien sovitteluun liittyy myös riski niiden sopivuudesta, joka saattaa aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia.

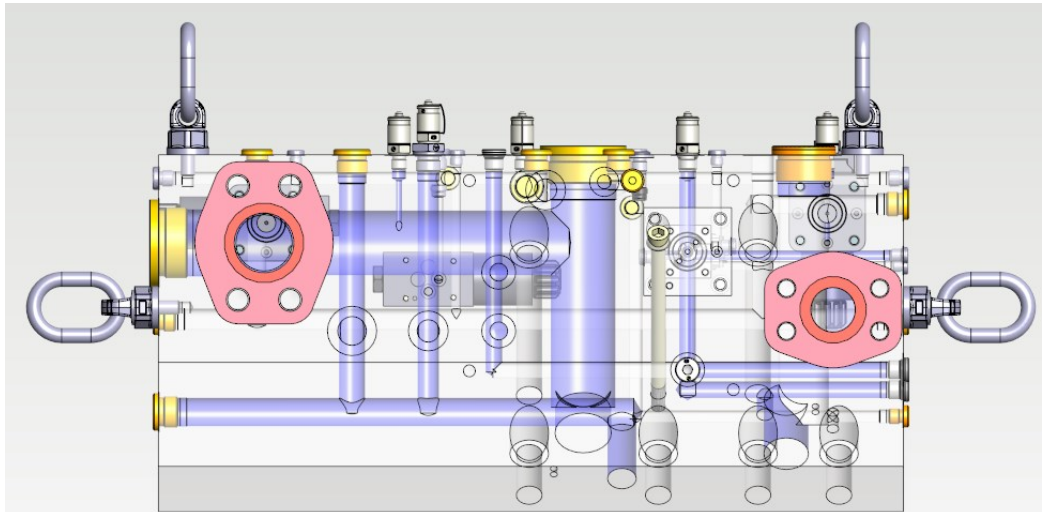
Kustannus arvion perusteella olisi siis järkevää edetä suunnittelussa vanhojen putkien mallilla, mutta hinnan lisäksi huomioon otettavia asioita, jotka vaikuttavat päätökseen ovat energiatehokkuus, huollettavuus ja käytettävyys. Huollettavuuden kannalta näillä kahdella mallilla ei ole eroa. Komponentit tulee sijoitella jokatapauksessa niin että ne pystytään tarpeen tullessa vaihtamaan. Käytettävyyteen ei myöskään ole suurta vaikutusta, sillä testaajan käyttämä liitinlohko tulee olemaan samassa paikassa. Energiatehokkuus on ainoa asia, joka kärsii vanhojen putkien väliin tulevasta lohkosta. Uusilla putkilla saataisiin neste virtaamaan loivempia mutkia, ja niitä olisi vähemmän. Tässä vaiheessa kuitenkin energiatehokkuus määriteltiin toissijaiseksi ominaisuudeksi kustannuksien rinnalla.

5.4 Painepalkin adapterit

Luvussa 4.2.1 läpikäyty adapterilohko idea, joka yhdistää painepalkin liitinosan vanhoihin putkiin, suunniteltiin seuraavalla tavalla. Lohkojen suunnittelua rajoittaa eniten sen rajapinnat. Lohkon toinen rajapinta tulee olla täysin samanlainen kuin vanhassa palkissa, joka aiheuttaa sen että lohkosta tulee huomattavasti leveämpi, kuin siihen liittyvästä palkin liitinosasta. Lohkoon tulee koneistaa vino pinta, johon palkin liitinosaa yhdistetään, koska putket ovat 45 asteen kulmassa, mutta liitinosaa halutaan vaakatasoon.



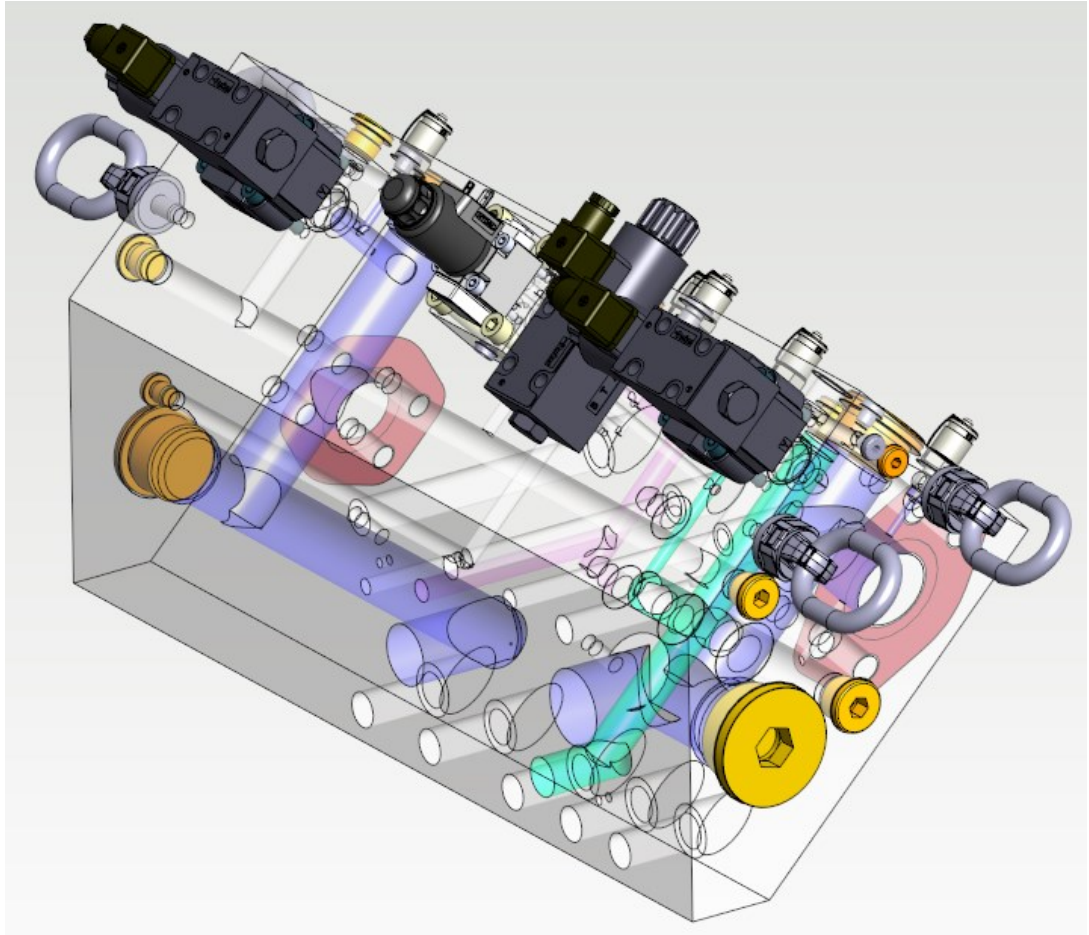
Kuva 5.7: Painepalkin adapterilohkon liitinosan puoleinen rajapinta



Kuva 5.8: Painepalkin adapterilohkon putkien puoleinen rajapinta

Kuva 5.7 nähdään painepalkin adapterilohkon ja liitinosan välinen rajapinta, jossa lohkot yhdistetään pulttiliitoksella. Nestekanavat yhdistyvät lohkojen välillä, ja tiivistyvät o-renkaiden avulla. Vaino rajapinta aiheutti haasteita suunnitteluun. Lohkoon nähden vinot pulttiporaukset vievät paljon tilaa.

Kuva 5.8 nähdään adapterilohkon ja putkien välinen rajapinta. Liitokset ovat samoilla paikoilla, kuin vanhoissakin palkeissa. Komponentit ovat sijoiteltu lohkon siten, että ne olisivat mahdollisimman helppo huoltaa, sekä mittanippojen kohdalla mahdollisimman helppo käyttää. Komponenttien sijoittelussa on mahdollisuuksien mukaan suosittu lohkon päälli- ja takapintaa, joihin on helppo pääsy palkkien ollessa kiinnitettynä testipenkkiin.

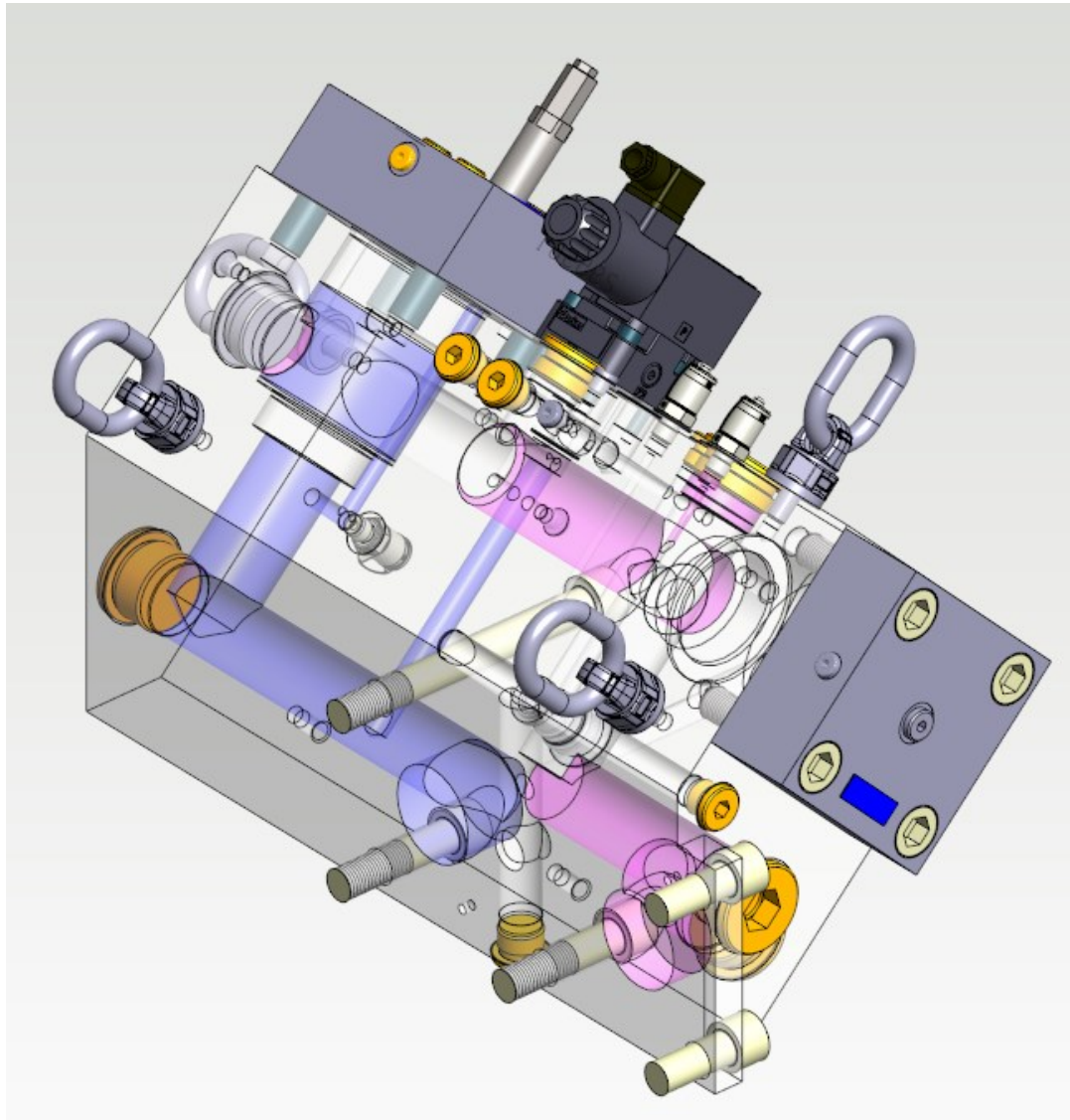


Kuva 5.9: Toisen puolen painepalkin adapterilohkon ja liitinosan välinen rajapinta

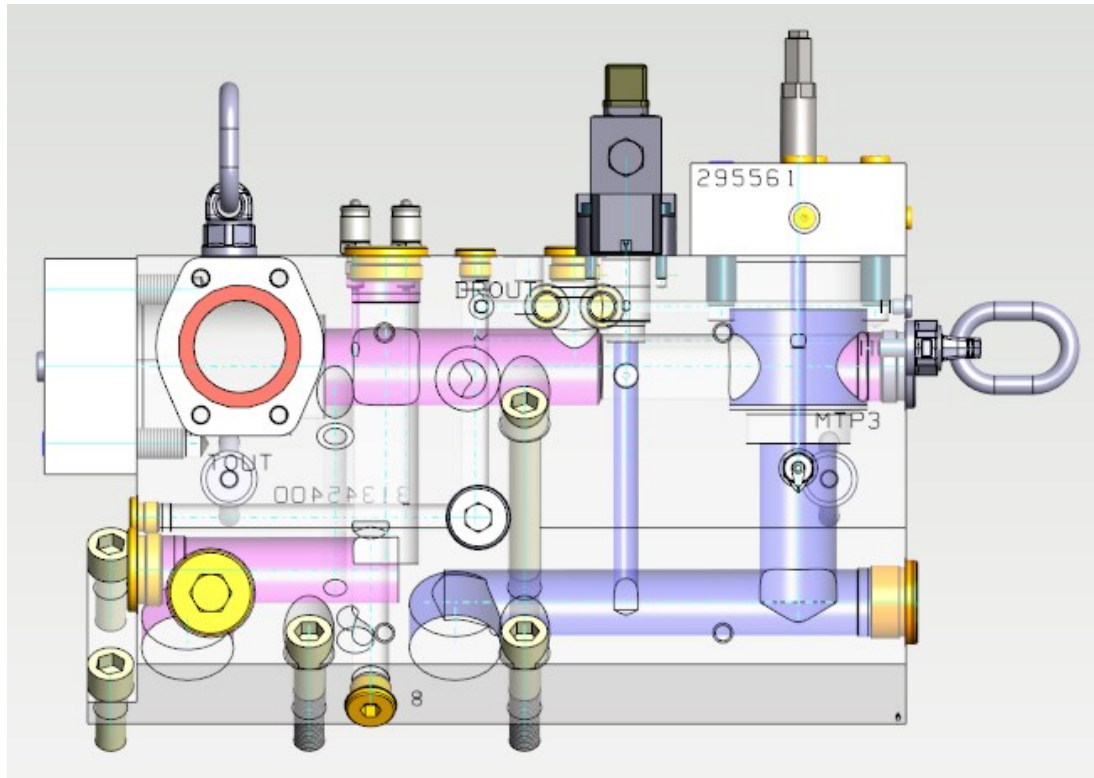
Testiasemien ollessa peilikuvat toisistaan, tarvitaan omat adapterilohkot molemmille puolille. Kuva 5.9 näkyvän adapterilohkon suunnittelussa on huomattavasti vähemmän ongelmia, koska vanhojen putkien nestekanavat linjautuivat paremmin samoille kohdille uuden liitinosan kanavien kanssa. Osa pulteista jouduttiin sijoittamaan eri paikoille, kuin toisessa adapterilohkossa. Painepalkin liitinoosaan saatiin helposti lisättyä useammat kierteen pultteja varten.

5.5 Tankkipalkin adapterit

Tankkipalkkiin suunniteltiin samalla tavalla uudet lohkot liitinosan ja putkien väliin. Kuva 5.10 nähdään adapterilohkon ja liitinosan välinen rajapinta, joka kiinnittyy pulttiliitoksella. Kanavat yhdistyvät ja tiivistyvät o-renkailla.



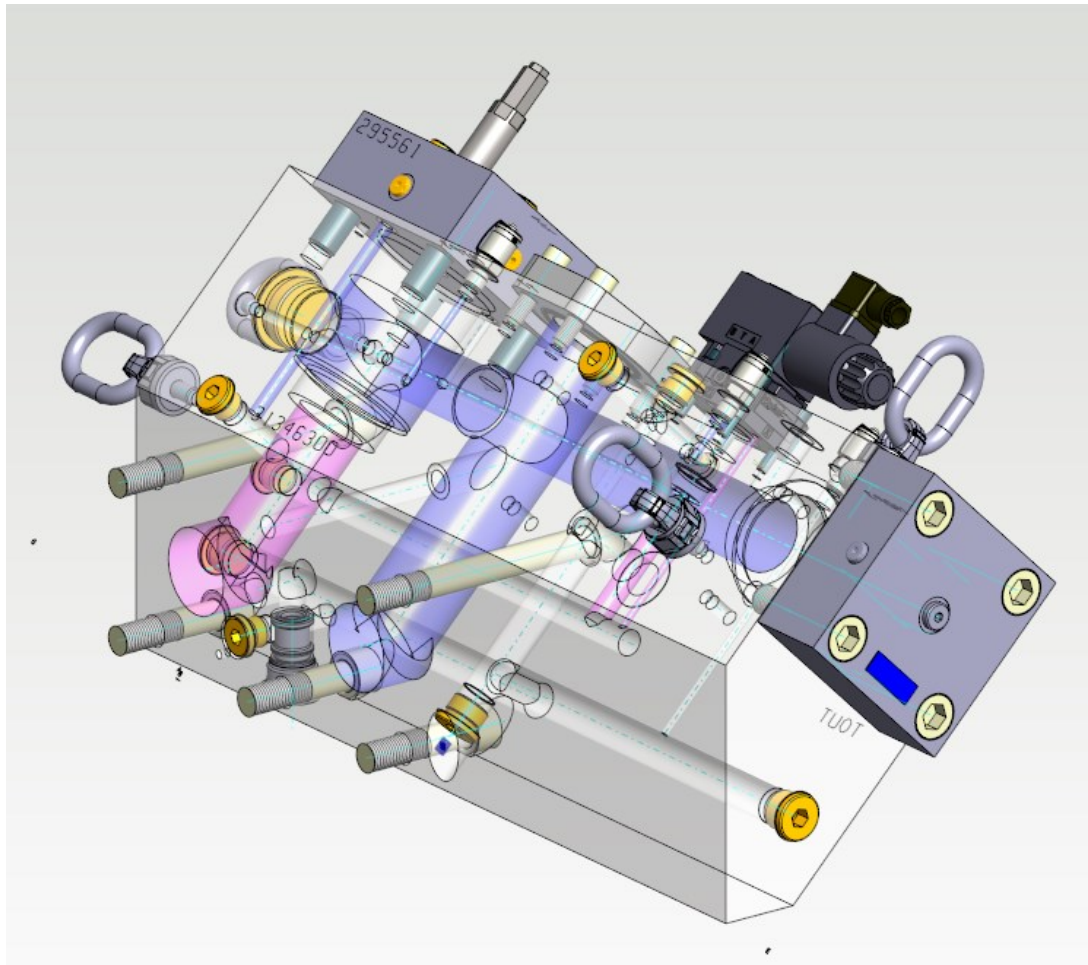
Kuva 5.10: Tankkipalkin adapterilohkon ja liitinosan välinen rajapinta



Kuva 5.11: Tankkipalkin adapterilohkon ja putkien välinen rajapinta

Kuva 5.11 nähdään adapterilohkon ja putkien välinen rajapinta, jossa iso tankkiputken liitos on pidetty samalla paikalla, mutta drain- sekä kuormapatruunan ohjauslinja ovat siirretty eri paikoille. Drainlinjan siirto johtui siitä, että sen alkuperäiseen sijaintiin olisi ollut todella vaikea vetää porauksia. Kuormapatruunan ohjauslinjan siirtäminen johtui siitä, että vanhassa palkissa se sijaitsi palkin toisessa päädyssä. Uudesta palkista ei ollut tarpeellista tehdä niin pitkää kuin vanhasta, jolloin on järkevämpää muokata yhtä pientä putkea, kuin tehdä ylimittaista lohkoa.

Adapterilohkon suunnittelussa toiselle puolelle, käytettiin samoja periaatteita, eli iso tankkiliitin pidettiin paikoillaan, mutta drain- ja kuormapatruunan ohjauslinjoja siirrettiin. Kuva 5.12 nähdään adapterilohkon ja liitinosan välinen rajapinta.



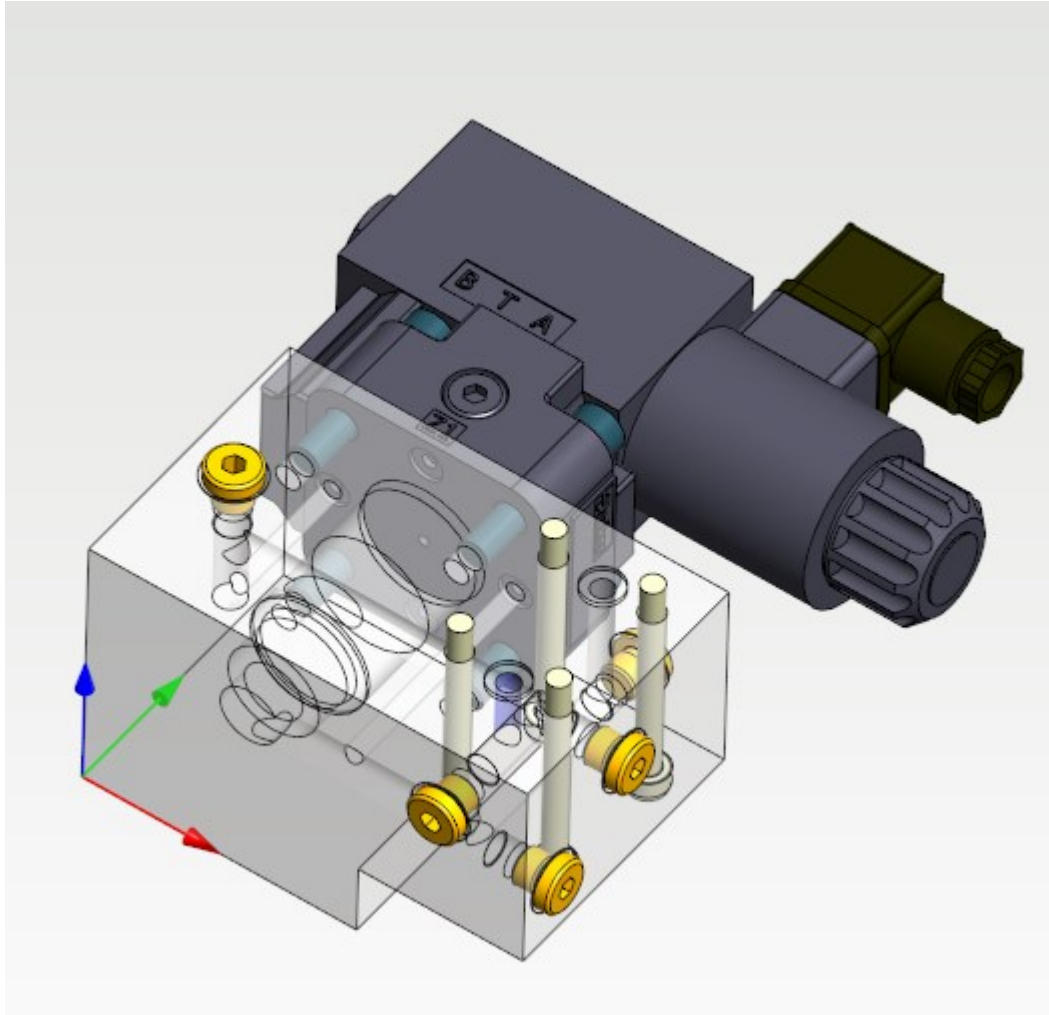
Kuva 5.12: Toisen puolen tankkipalkin adapterilohkon ja liitinosan rajapinta

Kyseisen adapterilohkon suunnittelu oli helpompi, kuin aikaisemman, sillä kuormapatruunan sai linjattua sopivasti liitinosan kanavan kanssa, ja ison tankki kanavan putkiliitos sijaitsi kaukana muista komponenteista.

5.6 Päätyaseman palkit

Testipenkkiryhmän päädyssä sijaitseva testiasema käyttää nykyhetkellä samoja paine- ja tankkipalkkeja, kuin sivutestiasematkin. Päätytestiasemalla palkit ovat vaakatasossa ja letkuliitokset osoittavat suoraan testiaseman pöytää kohti. Testipenkkiryhmän ympärille tulevat uudet suojat eivät aiheuta ongelmia päätytestiaseman paine- ja tankkipalkkien kanssa, joten fyysisiltä ominaisuuksiltaan vanhat palkit soveltuvat hyvin uuteen testiasemaan. Kuitenkin tarkoituksena oli uudistaa käsikäyttöiset ominaisuudet sähkökäyttöisiksi, jotta niitä voidaan käyttää suojien ulkopuolelta, ja näin ollen parantaa testaajan turvallisuutta. Tämä onnistuu suunnittelemalla hanojen tilalle sähkökäyttöiset venttiilit, jotka mahtuvat hanojen paikoille.

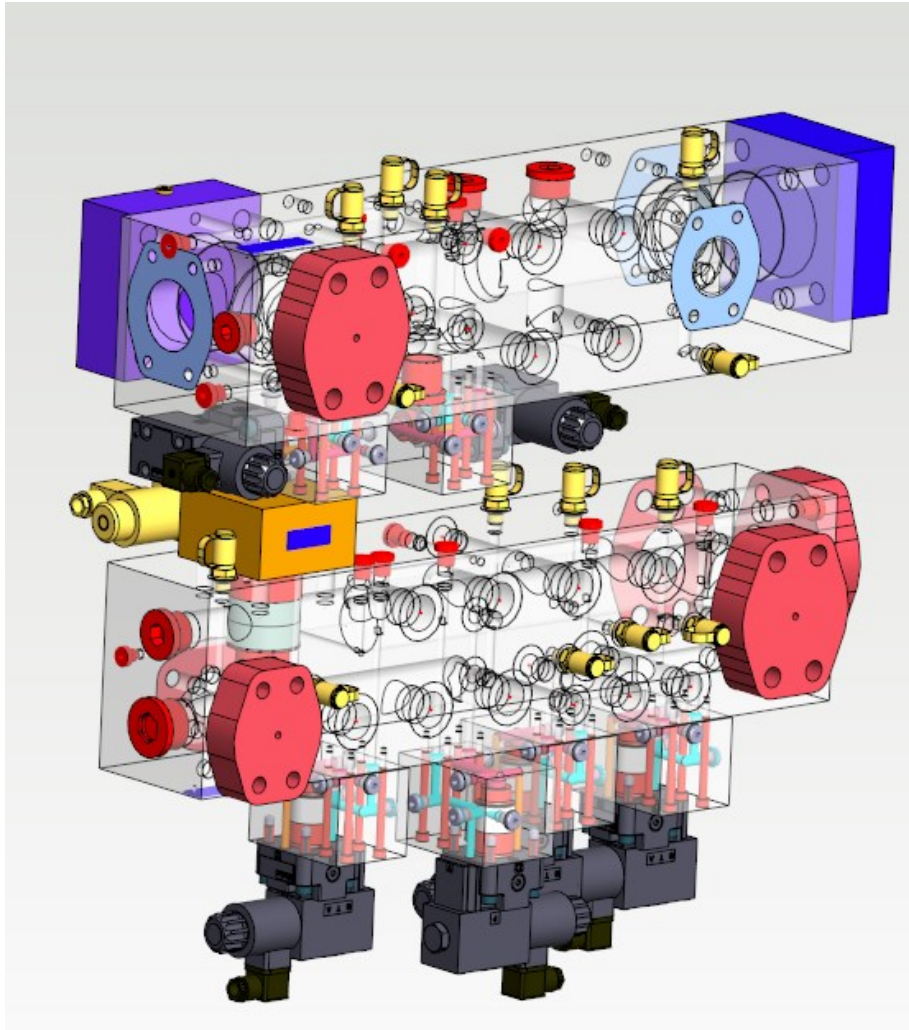
Painepalkissa on neljä hanaa, jotka on sijoitettu riviin lohkon alapinnalle. Kuva 5.13 nähdään painepalkin vapaakiertoventtiililohko, joka kiinnittyy vanhan vapaakiertohanan paikalle. Toiminnaltaan venttiili vastaa täysin jo aiemmin luvussa 4.2.1 läpikäytyä vapaakiertoventtiiliä sivutestiasemien painepalkeissa.



Kuva 5.13: Painepalkin vapaakierto venttiililohko

Kuvassa Kuva 5.14 nähdään vapaakiertoventtiililohkojen sijoittelu päätytestiaseman painepalkissa, joka on palkeista alempi. Yksi lohkoista on eri päin kuin muut, koska päälohkossa kanavat ovat toisin päin. Kuvassa Kuva 5.14 näkyvä kaikista oikean puoleisin vapaakiertoventtiililohko on niin lähellä toista lohkoa, että patruunan ohjaus sandwich venttiilit törmäävät toisiinsa. Tämä on helposti korjattavissa lisäämällä toisen alle NG6 kokoinen korotuspala.

Kuva 5.14 näkyy tankkipalkki, joka sijaitsee painepalkin yläpuolella. Vapaakiertoventtiililohkot suunniteltiin samalla tavalla kuin painepalkkiinkin, mutta tankki palkin alapuolella oleva painepalkki aiheutti huomattavasti ahtaamman tilan tankkipalkin vapaakiertoventtiililohkoille.



Kuva 5.14: Päätytestiaseman tankki- ja painepalkit

Kuva 5.14 nähdään että kummankin tankkipalkin vapaakiertohanan tilalle suunniteltiin omat vapaakiertoventtiililohkot. Patruuna tuli sijoittaa osoittamaan sivusuuntaan, jotta se saatiin mahtumaan. Muuten vapaakiertoventtiilit ovat toiminnaltaan täysin samat.

5.7 Tukirakenteet

Kaikki uudet lohkot vaativat tukirakenteita, joilla ne saadaan kiinnitettyä haluttuihin paikkoihin. Paine- ja tankkipalkeille suunnitellaan omat jalustat. Muutamille jo valmiille testissä käytettäville lohkoille suunnitellaan omat jalustat. Jalustojen suunnittelussa tärkeimmät huomioon otettavat asiat ovat: riittävä rakenteen jäykkyys, sijainti huollettavuuden ja käytettävyyden kannalta.

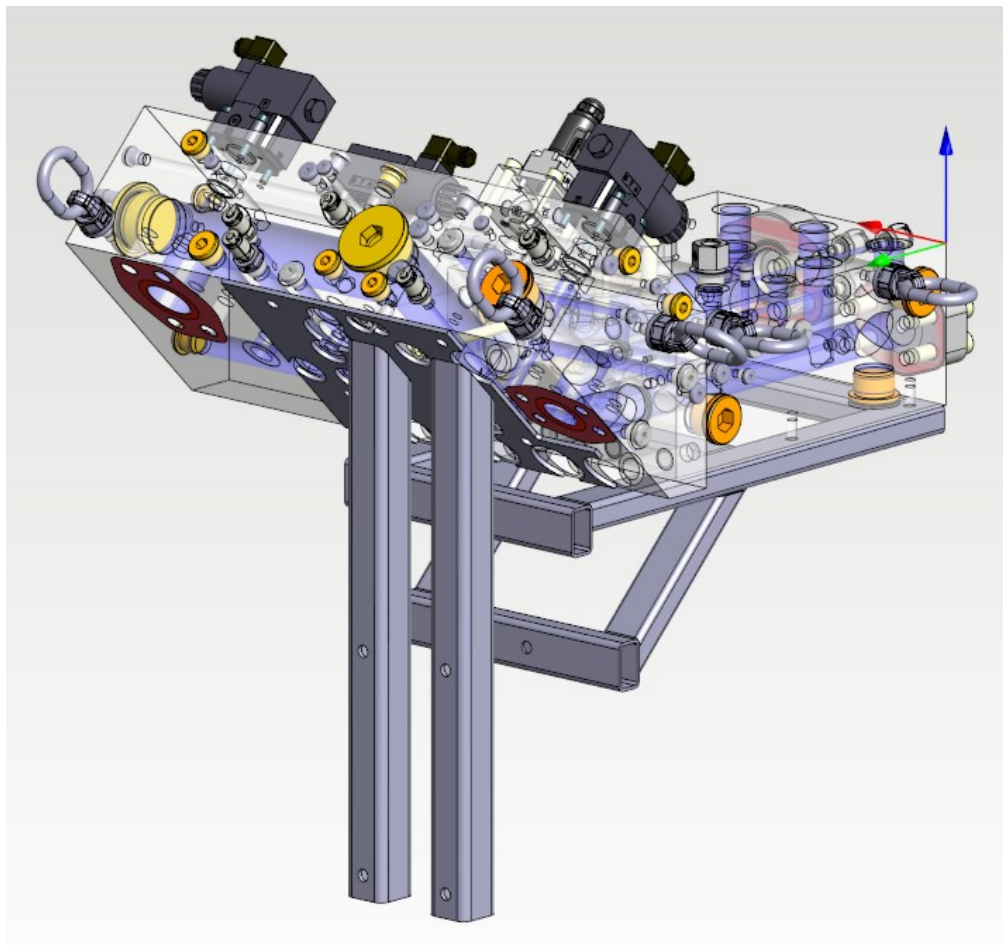
Jalustat pitävät lohkot niille tarkoitetuilla paikoilla, ja erityisesti suuria putkiliitoksia omaavien lohkojen kohdalla jalustalta vaaditaan tarkkaa paikoitusta ja jäykkyyttä,

sillä putkiliitokseen ei saa kohdistua turhia jännityksiä. Järjestelmän huollettavuus piti huomioida mahdollisimman hyvin tukirakenteita suunnitellessa. Komponentit tulee olla vaihdettavissa, sekä sivutestiasemien pöydät tulevat olla liikutettavissa.

5.7.1 Paine- ja tankkipalkkien jalustat

Painepalkin jalusta suunniteltiin siten että se kiinnittyy testipenkin rakenteisiin pulteilla. Pulttiliitoksien avulla voidaan säätää venttiililohkon asemaa, jotta palkit saadaan riippumattomiksi putkiliitoksista, ja näin putkiliitokset saadaan vuodottomiksi. Painepalkki kiinnittyy jalustaan useasta kohdasta. Painepalkin adapteriosa kiinnittyy jalustan taustalevyyn pulteilla. Painepalkin liitinosa kiinnittyy pulteilla jalustan vaakaputkiin, jotka kulkevat palkin alapuolella.

Kuva 5.15 näkyy painepalkki kiinnitettynä jalustaan. Jalustan taustalevyyn on asetettu reiät kaikkien liitoksien, tulppien ja pulttien kohdille. Jalustan loput osat ovat putkipalkki rakenteita. Jalustassa on käytetty kahta eri putkipalkkiprofiilia: 50x50x5,0 mm sekä 50x30x3,0 mm. Jalusta valmistetaan hitsaamalla palkit sekä levykappale yhteen.

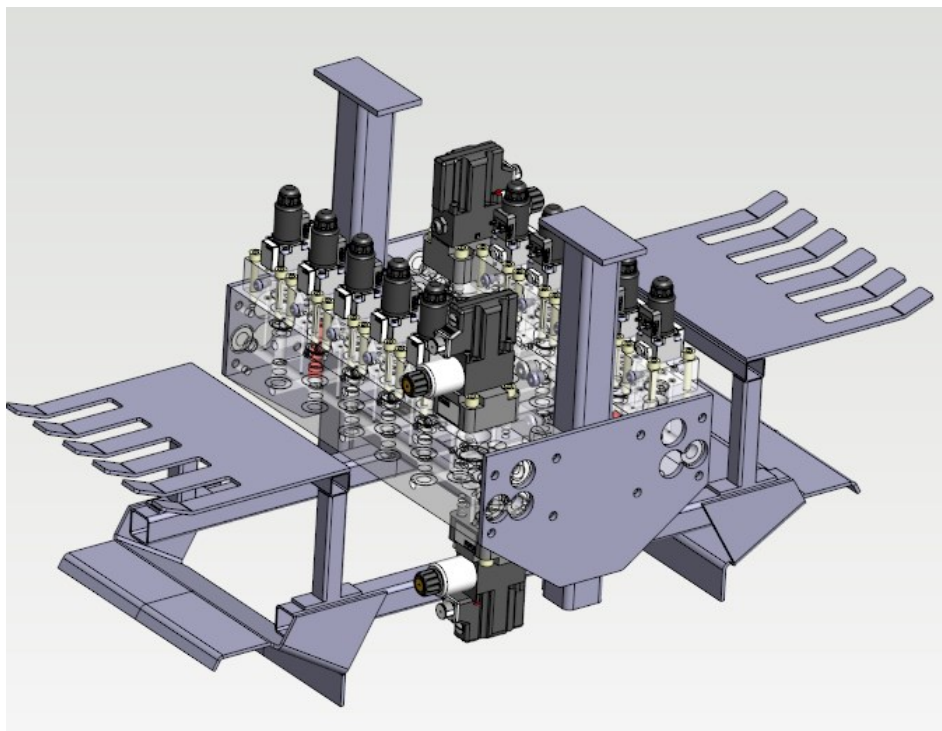


Kuva 5.15: Painepalkin jalusta

Testipenkkiryhmän jokaiselle palkille suunniteltiin oma jalusta, koska jokaisen palkin ulkoiset mitat eroavat toisistaan liikaa. Kaikki jalustat suunniteltiin valmistettavaksi samalla tavalla saman kokoisista putkipalkkiprofiileista, ja levy materiaalista.

5.7.2 Letkukilohkoteline

Testipenkkeihin suunniteltiin telineet, jo valmiiksi suunniteltuja letkukilohkoja varten. Letkukilohkon tarkoituksena on korvata testauksessa käytettävät hanalliset letkukit. Letkukilohkon venttiilit ovat 2/2 suuntaventtiilipatruunoita, joita ohjataan sähköllä, jolloin venttiili voidaan avata ja sulkea turvallisesti suojien ulkopuolelta. Kuva 5.16 nähdään letkukilohkolle suunniteltu teline.



Kuva 5.16 Letkukilohkoteline

Letkukilohkon telinettä suunniteltaessa lähdettiin liikkeelle lohkon sijainnista. Paras paikka lohkoille on testipenkin keskellä, jossa on tyhjää tilaa. Teline suunniteltiin siten, että molempien puolien testiasemien lohkot kiinnittyvät samaan telineeseen, joka on symmetrinen kummallekin testiasemalle. Letkut asennetaan kiinteästi lohkon liitäntöihin, jotka osoittavat kuvassa alaspäin. Letkujen toisessa päässä on pikaliitin, joka asetetaan Kuva 5.16 näkyvään telineeseen, kun sitä ei käytetä. Kuva 5.16 letkutelineen alla oleva kouru ohjaa roikkuvat letkut testipenkkiryhmän keskelle pois tieltä. Letkuteline on sijoitettu siten, että testaajan on mahdollisimman helppo ottaa siitä letku ja asentaa se testattavaan venttiilistöön.

Teline on suunniteltu valmistettavaksi putkipalkkiprofiilista ja levy materiaalista, kuten muutkin telineet. Kappaleet yhdistetään toisiinsa hitsaamalla ja pulttiliitoksilla. Pulttiliitoksia on käytetty paikoissa, jotka helpottavat asennusta. Pulttiliitokset mahdollistavat myös osien pois jättämisen osalla testiasemista. Esimerkiksi testiasemalla, jossa letkukilohkoa ei tarvita, voidaan jättää asentamatta lohko sekä kouru, jolloin letkuteline jää käytettäväksi testiaseman muita letkuja varten.

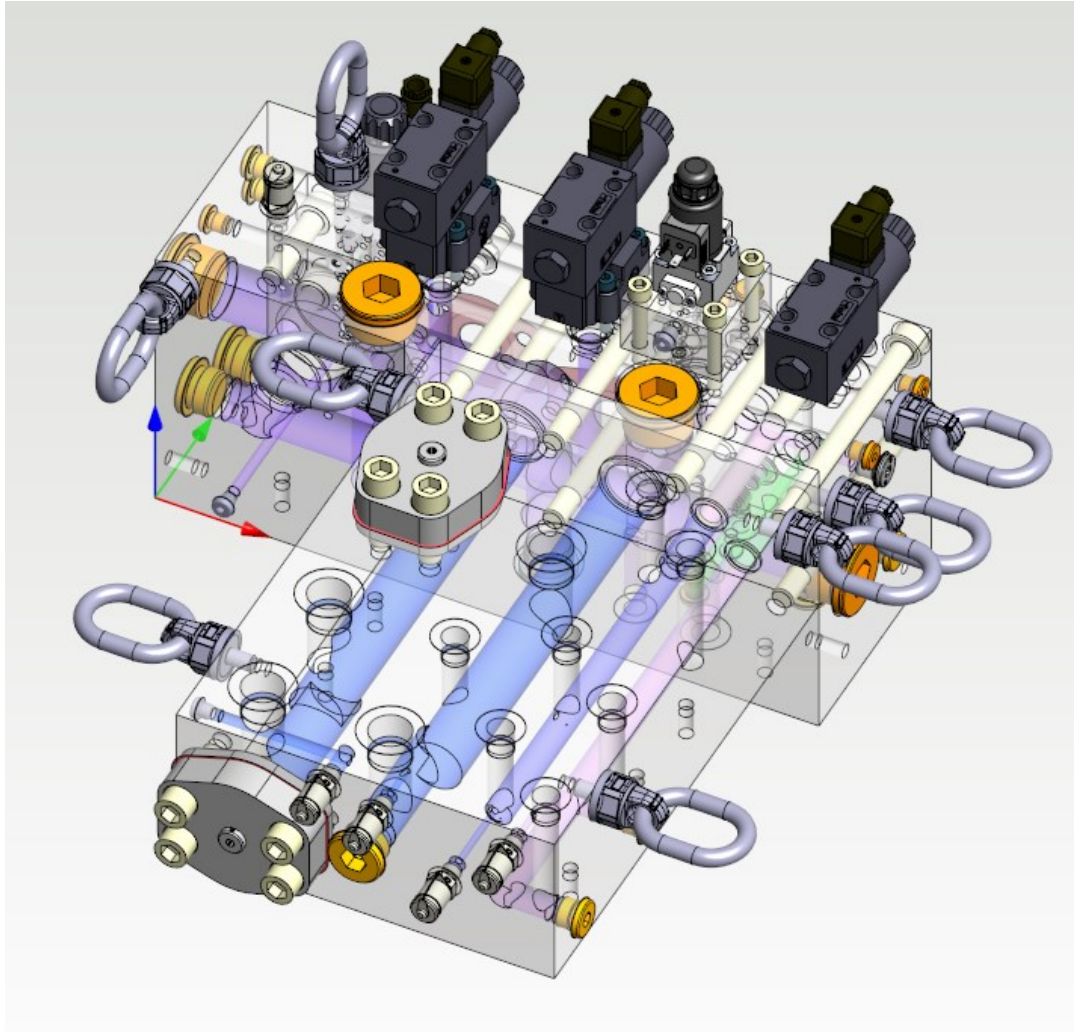
5.8 Sarjapuolen palkit

Sarjapuolen palkkien suunnittelu sujui huomattavasti helpommin verrattuna projektipuoleen. Suunnittelu aloitettiin samalla tavalla pikaliitinlohkoista, joista pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman testaaja ystävälliset.

Pikaliitinlohkojen ja putkien väliin suunniteltiin adapterilohkot, jotka sisältävät myös venttiilit. Adapterilohkoilla on kaksi rajapintaa, putki rajapinta joka säilyy ennallaan vanhoista palkeista, sekä liitinlohko rajapinta. Sarjapuolella palkit ovat sijoitettu siten, että testi asemat eivät ole peilikuvat toisistaan. Tämä vähentää suunniteltavien lohkojen määrää.

5.8.1 Sarjapuolen painepalkki

Kuva 5.17 on esitetty sarjapuolen painepalkki edestäpäin. Painealkin lohkojen aihioiksi valikoitui, 282x125 mm ja 222x170 mm. Pikaliitinlohkon lopullisiksi mitoiksi saatiin 400x282x125 mm. Painealkin venttiililohkon lopullisiksi mitoiksi saatiin 495x222x170 mm.

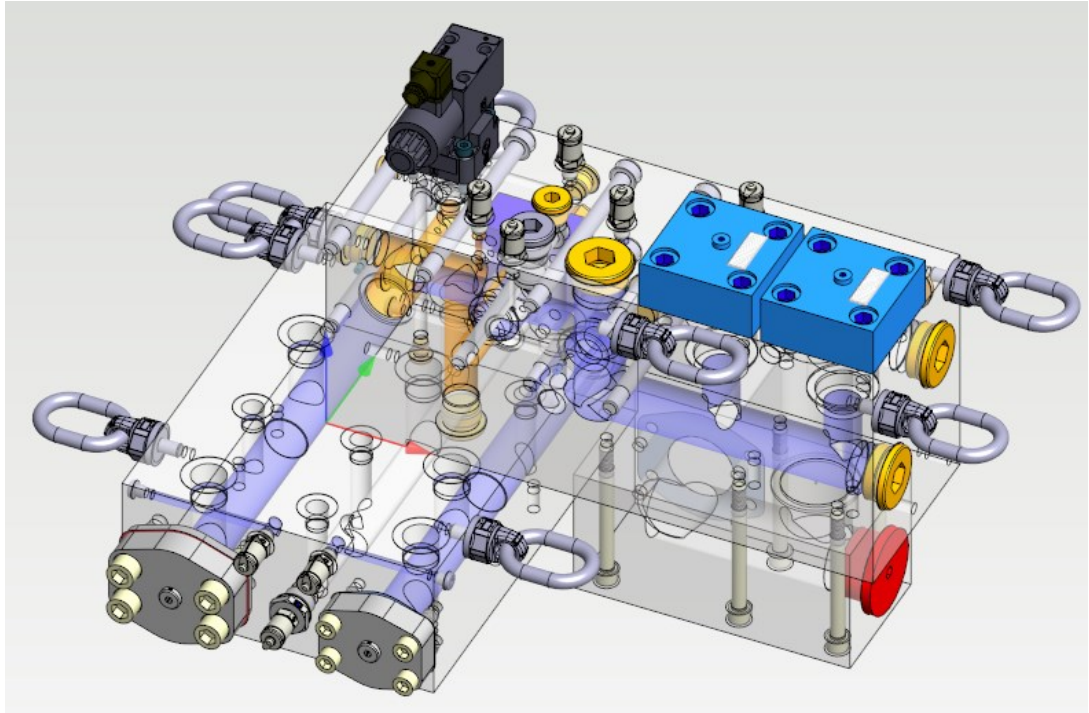


Kuva 5.17 Sarjapuolen painepalkki

Painepalkin kaksi lohkoa on yhdistetty pulttiliitoksella, jonka mitoitus on esitetty luvussa 5.10. Lohkojen välissä kanavat tiivistettiin o-renkailla. Painepalkin pikaliitinlohkoon sijoiteltiin kaikki samat liitännät, kuin vanhassakin palkissa. Liitännät pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman käyttäjä ystävällisesti ja siten, että niitä on mahdollista käyttää, ottaessa huomioon letkujen mitat ja taivutussäteet. Painepalkin venttiililohkon putkiliitokset sijoiteltiin täsmälleen samoille paikoille, kun vanhassa painepalkissa, jotta uusi painepalkki saadaan sijoitettua samalle paikalle testiasemalla. Luvussa 4.2.4 esitetyt komponentit sijoiteltiin lohkojen kyljille. Komponenttien sijoittelussa tuli ottaa huomioon uuden testipenkin rakenteet, ja palkkien välissä sijaitseva testattavan lohkon kiinnitys sylinteri. Vapaakiertopatruunat aseteltiin venttiililohkon päälle riviin, jotta drain-linjan poraukset olisivat toteutettavissa yksinkertaisesti.

5.8.2 Sarjapuolen tankkipalkki

Kuva 5.18 on esitetty sarjapuolen tankkipalkki edestäpäin. Tankkipalkin lohkojen lohkojen mitoiksi saatiin täysin samat, kuin luvussa 5.9.1 esitellyn painepalkinkin.



Kuva 5.18: Sarjapuolen tankkipalkki

Lohkot yhdistävä pulttiliitoksen mitoitus on esitelty luvussa 5.10. Tankkipalkin liittimien ja komponenttien sijoittelu suunniteltiin samoilla periaatteilla, kuin aiemmin luvussa 5.9.1 esitellyn painepalkinkin. Tankkipalkin komponentit on esitelty luvussa 4.2.5.

5.9 Pulttiliitoksen mitoitus

Pulttiliitosta mitoittaessa tulee ottaa huomioon käytettävien pulttien koko, määrä, lujuus, sekä paineen aiheuttama voima. Lohkojen välissä kulkevien kanavien paine pyrkii irrottamaan lohkot toisistaan. Pulttien tulee kestää tämä voima moninkertaisesti, sillä varmuus kertoimena käytetään lukua 6. Mitoitus aloitetaan laskemalla paineesta aiheutuvat voimat. Kauranteen mukaan paineesta aiheutuva voima lasketaan **Error! Reference source not found.**:

$$F = pA \quad (1)$$

jossa F on voima, p on kanavassa vallitseva paine ja A on kanavan poikkipinta-ala. Laskennassa käytetään suurimpia mahdollisia paineita, jotka ovat mahdollisia kyseisissä kanavissa. Painepalkeissa kanavien paineiden arvot määräytyvät niiden

painerajoista, jotka ovat P1- ja P2-linjoille 400 bar, korkeapainelinjalle 600 bar, ja ohjauspainelinjalle projektipuolella 80 bar, sekä ohjaupainelinjalle sarjapuolella 50 bar. Tankkipalkkien kanavien paineita joudutaan arvioimaan. Tankkilinjan maksimi paineeksi arvioidaan 50 bar, ja drainlinjan paineeksi 30 bar. Kuormatankin paine on rajoitettu 400 bar:iin. Arviot ovat tarkoituksella todellisuutta suuremmat. Kunkin rajapinnan kanavien painevoimat lasketaan kaavan 1 avulla, jonka jälkeen ne lasketaan yhteen.

Taulukko 12. *Palkkien rajapintoihin kohdistuvat maksimi voimat yhteen laskettuna*

		Voima (kN)
projektipuoli	painepalkki	236,4
	tankkipalkki	175,7
sarjapuoli	painepalkki	200,6
	tankkipalkki	94,8

Maksimi voimien ollessa tiedossa, verrataan niitä pulttien keston. Käytettävissä olevista pulteista 12.9 ovat lujimpia, joten niillä päästään haluttuun tulokseen pienemmällä lukumäärällä ja halkaisijoilla. 12.9 pulttien tapauksessa käytetään 0,2-rajaa, joka tarkoittaa materiaalin 0,2% venymisrajaa. Kotilaisen ja Rantasen mukaan 0,2-rajaa käytetään tapauksissa, joissa ei ole selkeää myötörajaa. **Error! Reference source not found.**

Taulukko 13. *Pulttien 0,2-rajat kilo Newtonina*

	0,2-rajat (kN)
M10	62,6
M12	91,0
M14	124,0
M16	170,0
M20	265,0

Taulukosta 13 valitaan iteroimalla sopiva määrä, sopivan kokoisia pultteja vastaamaan kyseiseen rajapintaan kohdistuvaa voimaa. Rajapintaan kohdistuvat voimat on listattu taulukossa 12. Pulttien yhteenlaskettu voima tulee olla vähintään 6 kertaa suurempi, kuin rajapintaan kohdistuvan voiman.

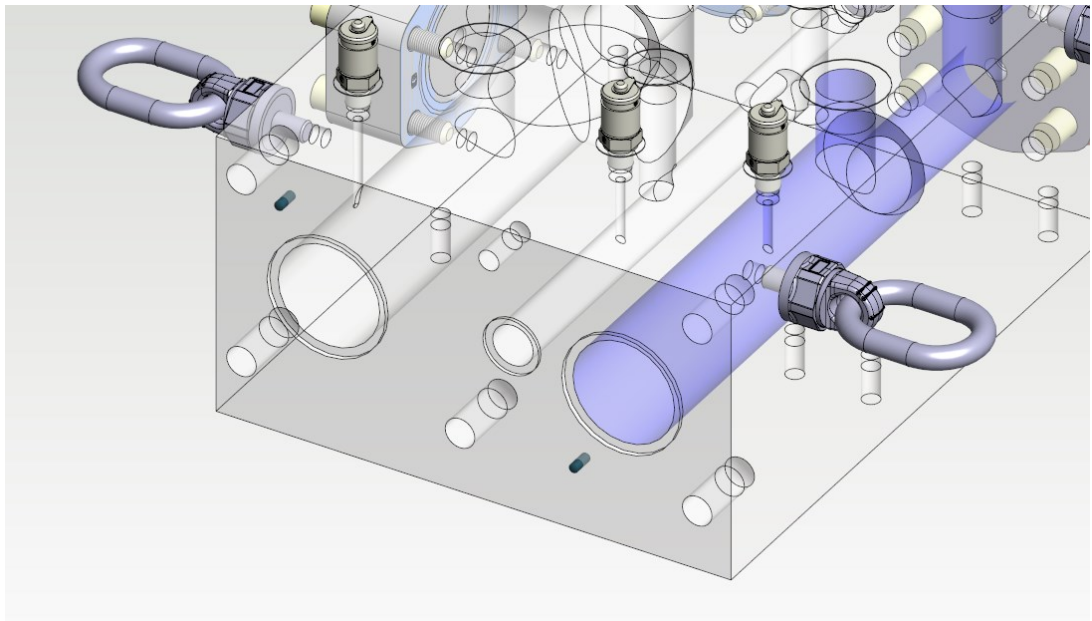
Projektipuolen painepalkin pulttien valinta oli haastavin, koska voima oli suuri 236,4kN, sekä adapterilohkon kanavat olivat useassa kohdassa tiellä. Pulteiksi valittiin 6kpl M20- ja 1kpl M12-kokoisia pultteja. Toisessa projektipuolen painepalkissa oli enemmän tilaa pulteille, joten edellä mainittuun lisättiin vielä 1 kpl M16- sekä 1 kpl M14-kokoiset pultit. Osa pulteista jouduttiin muuttamaan pienemmäksi, koska sille porattava kierre ei olisi mahtunut painepalkin pikaliitinlohkoon, yhteiskäyttöpatruunan ollessa lähellä lohkojen rajapintaa.

Taulukko 14. Valittujen pulttien koot sekä määrä

		Pultit (määrä x koko)	Varmuus
projektipuoli	painepalkki	6 x M20, 1 x M12 6 x M20, 1 x M16, 1 x M14, 1 x M12	7,1 8,35
	tankkipalkki	5 x M20, 1 x M14	8,2
sarjapuoli	painepalkki	8 x M12	6,8
	tankkipalkki	8 x M10	10,5

Taulukossa 14 on koottu valittujen pulttien koot ja määrät, sekä niillä saavutettu varmuuskerroin. Varmuuskerroin on laskettu jakamalla pulttien yhteenlaskettu kesto rajapintaan kohdistuvalla kokonais voimalla. Sarjapuolen palkkeihin saatiin mahtumaan 8 pulttia, koska lohkojen kanavat kulkivat selkeämmin ja ne olivat pienempiä. Kanavien ollessa pienemmät, myös rajapintaan vaikuttava voima oli pienempi. Sarjapuolella voitiin käyttää pienempiä pulttikokoja, koska voima oli pienempi ja pultteja oli enemmän. Taulukosta 14 nähdään että kaikkien rajapintojen pulttiliitokset ovat riittävät verrattuna kokonaisvoimaan.

Rajapinnoissa on syytä tarkastella myös toispuoleisia voimia. Hyvänä esimerkkinä on tankkipalkkien väliset rajapinnat, joissa kuormatankki-linja aiheuttaa selkeästi suurimman osan rajapintaan kohdistuvasta painevoimasta.



Kuva 5.19 Tankkipalkin lohkojen välinen rajapinta

Kuvassa 5.19 oikeanpuoleinen suuri kanava on kuormatankki, jossa paine voi nousta 400 bar:n suuruiseksi, kun taas vasemman puoleinen kanava on normaali tankki kanava, jonka paine on arvioitu maksimissaan 50 bar:n suuruiseksi. Tässä tapauksessa rajapintaan kohdistuva voima on toispuoleinen ja kuormatankin puoleiset pultit joutuvat suuremmalle rasitukselle. Lasketaan voimien aiheuttama

vääntömomentti kuvan 5.19 lohkon vasemmalla näkyvän pystysärmän ympäri. Vääntömomentti lasketaan kaavalla:

$$M = Fr \quad (2)$$

Jossa F on voima, r on voiman momenttivarsi eli etäisyys momentti akselista. Tässä tapauksessa kanavien paineiden aiheuttama voima on vastakkais suuntainen verrattuna pulttien aiheuttamiin voimiin. Kanavien paineen aiheuttama voima lasketaan kaavalla 1. Kuvassa 5.19 näkyvän lohkon tapauksessa kanavien paineet aiheuttavat momentin pystysärmän ympäri:

$$M_{paine} = \sum p_i A_i r_i \quad (3)$$

Jossa p on paine, A on kanavan poikkipinta-ala sekä r on momenttivarsi. Kaavassa 3 lohkon yksittäisten kanavien aiheuttama vääntömomentti, jonka jälkeen ne lasketaan yhteen.

$$M_{paine} = (50 * 100000) Pa * \left(\frac{\left(\frac{70}{1000} \right)^2}{4} * \pi \right) m^2 * 0,065m + (400 * 100000) Pa * \left(\frac{\left(\frac{70}{1000} \right)^2}{4} * \pi \right) m^2 * 0,239m + (30 * 100000) Pa * \left(\frac{\left(\frac{35}{1000} \right)^2}{4} * \pi \right) m^2 * 0,174m \quad (4)$$

Kaavassa 4 on kolmen kanavan paineen aiheuttamat vääntömomentit. Kaavassa 4 paineen yksikkö muutetaan bareista pascalleiksi, pinta-ala lasketaan kanavan halkaisijan avulla ja ilmoitetaan neliömetreinä, sekä momenttivarsi ilmoitetaan metreinä. Kanavien paineiden aiheuttamaksi yhteis vääntömomentiksi saadaan 38,5 kNm. Pulttien aiheuttama vastakkainen vääntömomentti lasketaan samalla tavalla, mutta voimana käytetään pultin 0,2-rajaa, joten voidaan käyttää suoraan kaavaa 2.

$$M_{pultit} = \sum F_i r_i \quad (5)$$

Jossa F on pultin 0,2-rajan suuruinen voima, r on pultin momentti varsi. Kaikkien pulttien aiheuttamat momentit lasketaan yhteen.

$$M_{pultit} = 2 * 265,0kN * 0,015m + 265,0kN * 0,144m + 124,0kN * 0,161 + 2 * 265,0kN * 0,284m \quad (5)$$

Kyseisessä lohkossa on 5 kpl M20- ja 1 kpl M14-kokoisia pultteja. Pulttien yhteis vääntömomentiksi saadaan 216,6 kNm. Näin ollen kyseisen pulttiliitoksen varmuuskertoimeksi saadaan 5,63.

Suorittamalla samat laskelmat kaikille pulttiliitoksille saatiin seuraavanlaiset tulokset:

Taulukko 15. *rajapintoihin kohdistuva vääntömomentti vs. suora voima*

		paine	pultit	varmuus (momentti)	varmuus (voima)
projektipuoli	painealkki	37,10	276,70	7,46	7,1
		37,10	256,53	6,91	8,35
	tankkipalkki	38,49	216,59	5,63	8,2
sarjapuoli	painealkki	32,77	191,08	5,83	6,8
	tankkipalkki	19,38	133,05	6,87	10,5

Taulukossa 15 nähdään rajapintoihin kohdistuvat vääntömomentit sekä varmuuskerroin pulttien keston nähdessä. Taulukossa 15 on esitetty myös aiemmin tässä luvussa lasketut suoran yhteisvoiman ja pulttien välinen varmuuskerroin. Taulukosta 15 havaitaan että ne rajapinnat, joissa painevoimien ja pulttiliitosten sijainnit ovat toispuoleisia, omaavat suurimman erotuksen varmuuskertoimien välillä. Tämä johtuu siitä että laskettaessa suorilla voimilla tois puoleisuutta ei oteta lainkaan huomioon. Suurimmat erot varmuuskertoimien välillä syntyi tankkipalkeissa, joissa paineen aiheuttama voima on toispuoleinen kuormatankin takia. Toispuoleisuutta esiintyi myös sarjapuolen painepalkissa, jossa P1- ja P2-painelinjat ovat vierekkäin. P1- ja P2-painelinjojen ollessa pinta-alaltaan suuret ja niiden omaavan suuren paineen, muodostavat ne yhdessä suuren toispuoleisen voiman painepalkin rajapintaan. Toisessa projektipuolen painepalkissa havaittiin myös suuri toispuoleisuus, joka ei johtunut painevoimien tois puoleisuudesta, vaan pulttiliitosten toispuoleisuudesta. Pulttien sijoittelussa oli haasteita kanavien ollessa monessa kohtaa tiellä, ja näin ollen pulttiliitosten sijainnit ovat hieman toispuoleiset.

Taulukosta 15 havaitaan että varmuus on riittävä kaikkien palkkien pulttiliitoksissa. Jatkossa pulttiliitoksia suunnitellessa on huomioitava tarkemmin toispuoleisuus, ja sijoiteltava pulttiliitokset lähemmäksi alueita, joissa niillä on suurempi merkitys.

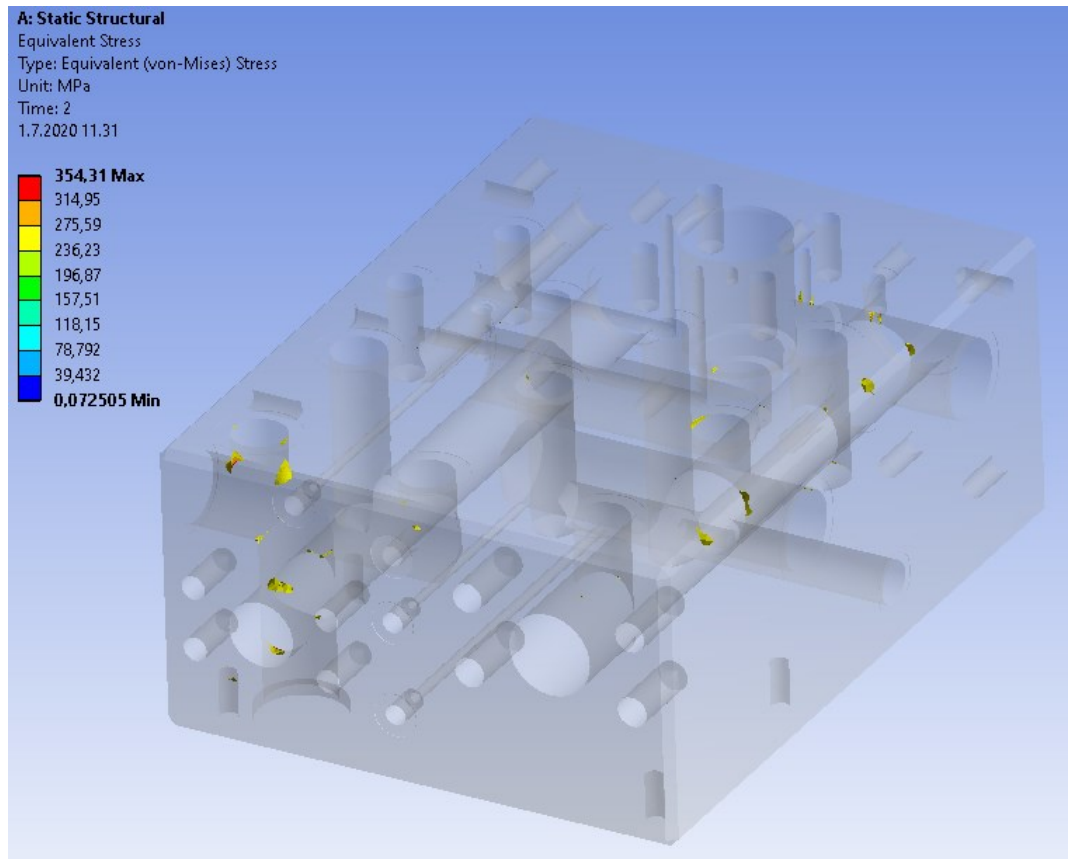
6. KOMPONENTTIEN PAINEENKESTON SIMULOINTI

Simuloinnin tarkoituksena ennakoida mahdollisia ongelmakohtia kappaleissa, ja näin korjata niitä ennen valmistusta. Yleensä ongelmasta aiheutuvat kustannukset ovat huomattavasti pienemmät, mitä aikaisemmassa projektin vaiheessa se korjataan. Tässä projektissa simuloidaan suunniteltujen kappaleiden ominaisuuksia. Venttiililohkojen paineenkeston tarkastelu on tärkeää turvallisuuden sekä kustannusten kannalta. Uusien lohkojen virtaus on tiedettävästi huonompi, kuin vanhoissa, koska liitännät siirtyvät kauemmaksi ja kanavien mutkat lisääntyvät. Tässä projektissa päätettiin, että lohkojen virtaus on toissijainen ominaisuus, koska niiden aiheuttamat painehäviöt ovat pieniä verrattuna putkiston, testiletkujen sekä testattavan lohkon aiheuttamiin painehäviöihin. Simulointi voitiin näin ollen rajata ainoastaan paineenkeston tarkasteluun.

Paineenkeston simuloinnissa käytettiin ANSYS ohjelmiston epälineaarista FEM-analyysiä. Ted Belytschko et al. mukaan, epälineaarinen FEM-analyysi on prototyyppi testaukseen verrattuna nopeaa ja halpaa **Error! Reference source not found..** Simulointi suoritettiin asettamalla paineen aiheuttama voima lohkojen kanaviin, joilta paineenkesto vaaditaan. Paineen aiheuttamia jännityksiä tarkastellessa erityistä huomiota kiinnitettiin kohtiin, joissa suuri jännitys voi aiheuttaa materiaalin rikkoutumisen, ja sitä kautta turvallisuus riskin.

6.1 Projektipuolen pikaliitinloikkojen tarkastelu

Kuvassa Kuva 6.1 nähdään projektipuolen painepalkin liitinosan paineen aiheuttamat jännitykset. Kuvasta Kuva 6.1 näkyvät jännitykset ovat rajattu siten, että vain yli 250 MPa jännitykset näkyvät. Lohkojen materiaalina käytettiin HYT 60 terästä, jonka myötöraja valmistajan mukaan on 250 MPa **Error! Reference source not found..** Jännityksiä syntyy vain kanavien mutkien teräviin kulmiin. Nämä jännitykset eivät vaikuta turvallisuuteen, sillä kyseisten kohtien materiaalin mahdollinen hajoaminen ei vapauta nesteen painetta ulkoilmaan tai toiseen kanavaan. Korkeapainelinja, joka näkyy kuvassa 6.1 lohkon ylä vasemmalla, on ainoa linja, jota käytetään 600 bar paineella. Korkeapainelinjassa ei esiinny yli 250 MPa jännityksiä, koska kanava on selkeästi muita kanavia pienempi halkaisijaltaan, näin ollen paine vaikuttaa pienemmälle pinta-alalle.



Kuva 6.1: Projektipuolen painepalkin liitinosa

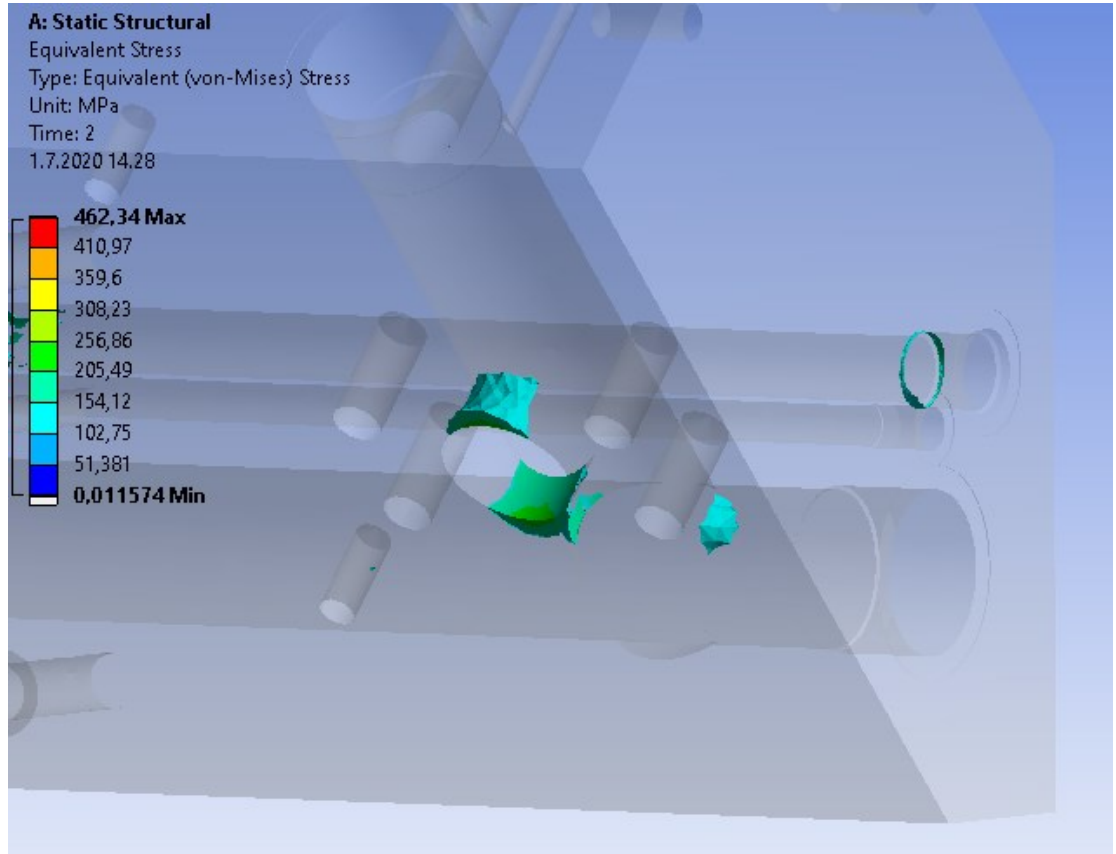
Projektipuolen tankkipalkin pikaliitinlohkoa simuloidessa paine kohdistettiin vain kuormatankkilinjaan, sen ollessa lohkon ainoa linja, jossa on mahdollista olla suuri paine. Paineeksi asetettiin 400 bar, joka nähdään määräytyvän kuvan 4.9 tankkipalkin kiinteän painerajoitusventtiilin mukaan. Paine aiheutti suurimmillaan 187 MPa jännityksen, joka on selkeästi alle sallitun jännityksen. Suurin jännitys paineistetun kanavan ja ulkoilman välille syntyi lohkojen rajapinnan yhteen kierrereikään. Jännitys oli suuruudeltaan alle 166 MPa. Tulos on hieman vääristynyt, koska simuloinnissa kierrereikä on tyhjä, kun todellisuudessa siellä on pultti kiristettynä tukemassa seinämää.

6.2 Projektipuolen adapterilohkojen tarkastelu

Projektipuolella on yhteensä neljä erilaista adapterilohkoa, jotka simuloitiin samalla tavalla kuin pikaliitinlohkotkin. Paineepalkin adapterilohkot simuloitiin kahdessa osassa, ensin asetettiin 600 bar paine korkeapainelinjaan, ja toisessa vaiheessa asetettiin 400 bar paine muihin painelinjoihin.

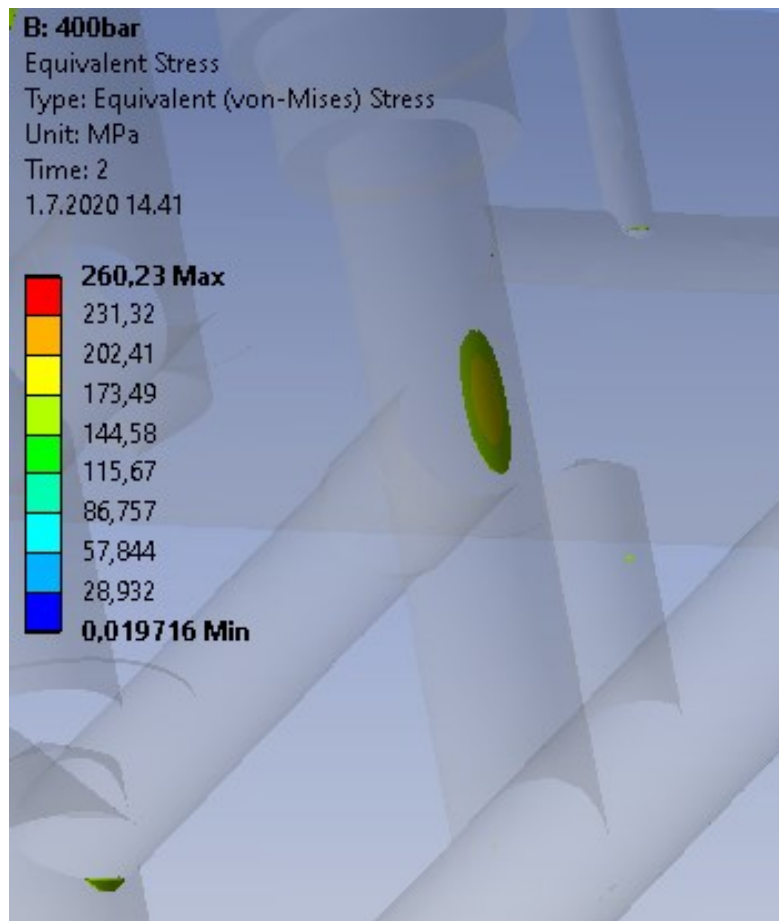
Kuvassa 6.2 nähdään painepalkin adapterilohkon P2-linjan putkiliitoksen ympärille muodostunut jännitys. Kyseinen jännitys oli adapterilohkojen kriittisin kohta. Jännitys

pysyi kuitenkin alle 250 MPa:n. Todellisuudessa kuitenkin putkiliitoksen laippa, jota ei ole huomioitu simuloinnissa, tukee lohkon seinämää tältä kohdalta. Simuloinnin suurin jännitys kohdistui kanavan mutka kohdan terävään kulmaan, jolloin se ei aiheuta turvallisuus riskiä.



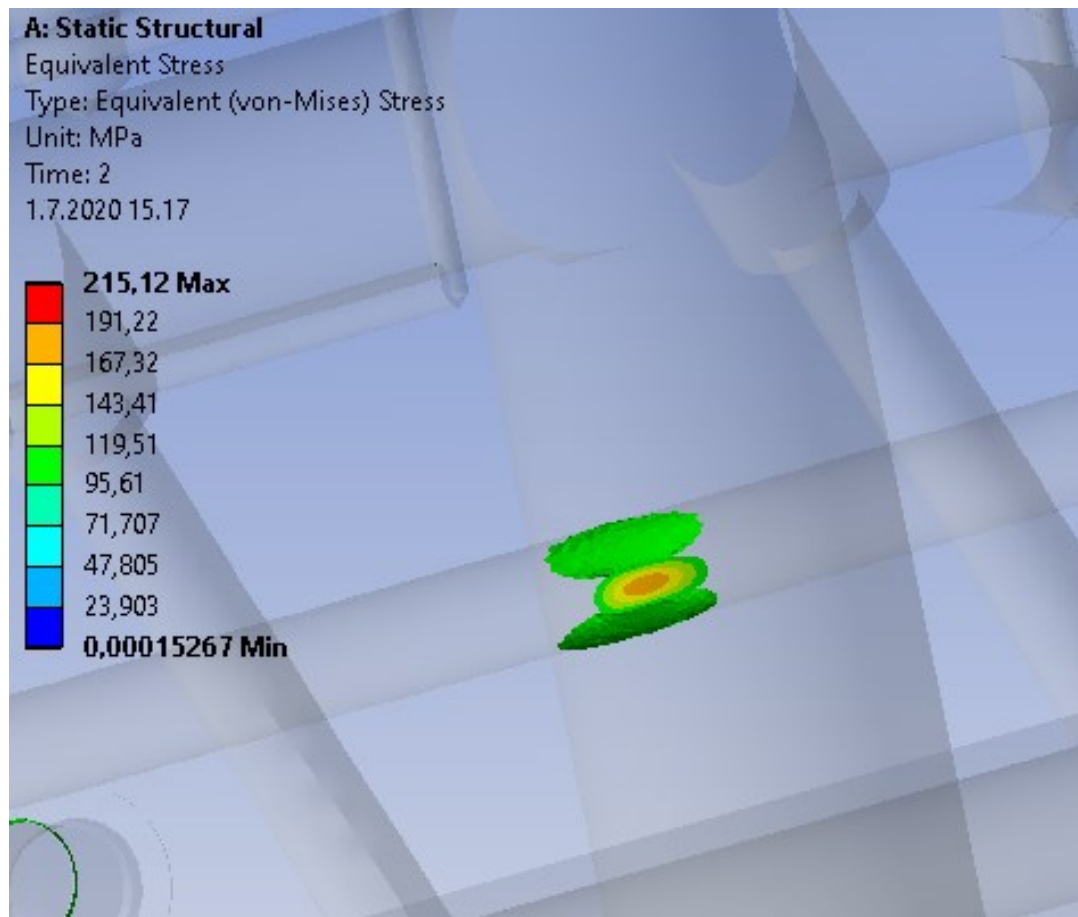
Kuva 6.2: Painevalkain adapterilohkon kriittisin jännitys

Kuvassa Kuva 6.3 nähdään toisen painevalkain adapterin P1-linjan ja ohjauspainelinjan välisen seinämän jännitys. Jännitys nousi suurimmillaan 200 MPa:iin kyseisessä seinämässä. Lohkon suurin jännitys kohdistui P2-linjan kanavan mutkan terävään kulmaan, mikä ei aiheuta turvallisuus riskiä.



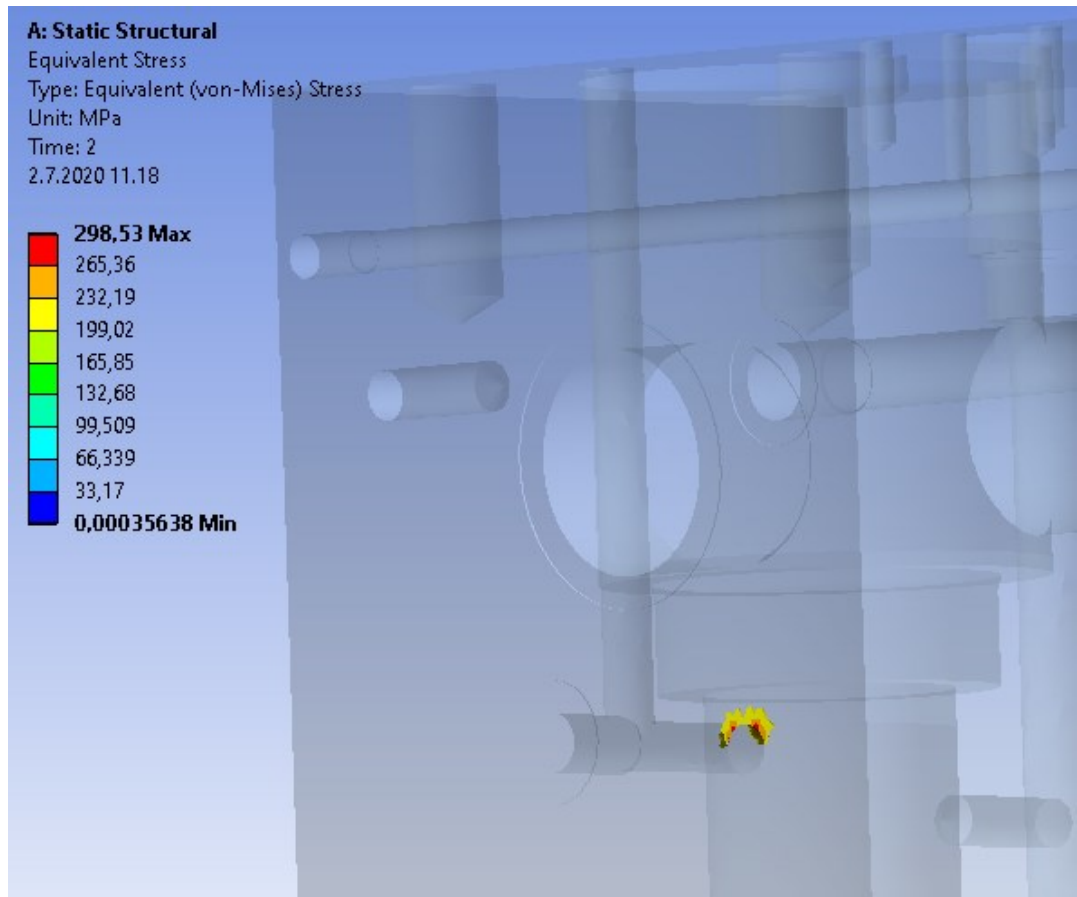
Kuva 6.3: Toisen painepalkin adapterin kriittisin jännitys

Tankkipalkin adapterilohkot simuloitiin samalla tavalla, kuin pikaliitinlohkotkin. Painetta kohdistettiin ainoastaan kuormatankki kanavaan. Kuvassa Kuva 6.4 näkyvässä tankkipalkin adapterilohkon simuloinnissa suurin jännitys muodostui kuormatankin kanavan, ja tankki kanavan välille. Kuvassa Kuva 6.4 näkyvä pienempi kanava on taka-alalla, siellä vaikuttava 400 bar:n paine aiheuttaa suurimmillaan 191 MPa:n jännityksen tankki kanavan puolelle seinämään.



Kuva 6.4: Tankkipalkin adapterin kriittisin jännitys

Toisen tankkipalkin adapterilohkon kriittisin jännitys kohta löytyi kuormituspatruunan ohjaus kanavan liityntä kohdasta. Jännitys nousi suurimmillaan liki 300 MPa:n suuruiseksi. Jännitys ylittää materiaalin keston, joten sitä on syytä pyrkiä pienentämään. Siirtämällä kuvassa Kuva 6.5 näkyvää porausta alaspäin, saadaan lisää seinämänvahvuutta jännityksen kannalta kriittiseen kohtaan.



Kuva 6.5: Toisen tankkipalkki adapterilohkon kriittisin jännitys, josta alle 200MPa suuruiset jännitykset ovat rajattu pois

Porauksen siirtäminen ei aiheuta mitään mainittavia negatiivisia vaikutuksia, joten se oli helppo parannus toteuttaa. Siirrettyä porausta 4 mm alaspäin, väheni jännitys kyseisessä kohdassa alle 170 MPa:iin.

6.3 Projektipuolen päätypenkin vapaakiertolohkot

Projektipuolen päätypenkin palkkeihin suunnitellut vapaakiertolohkot simuloitiin asiaan kuuluvilla paineilla. Painepuolelle tulevat lohkot simuloitiin 600 bar paineella, kuormatankkilinjaan tuleva lohko 400 barin paineella. Tankkilinjaan tuleva lohko jätettiin simuloimatta, koska lohkon ominaisuudet olivat hyvin saman kaltaiset kuin edellä mainituissakin, sillä erotuksella että sen paineenkeston vaatimus on noin kymmenesosa edellä mainituista.

Painelinjan vapaakiertolohkon simuloinnissa ei löytynyt suuria jännityksiä kriittisistä paikoista. Kuormatankin vapaakiertolohkon jännitykset pysyivät alle 150MPa:n

6.4 Sarjapuolen pikaliitinlohkojen tarkastelu

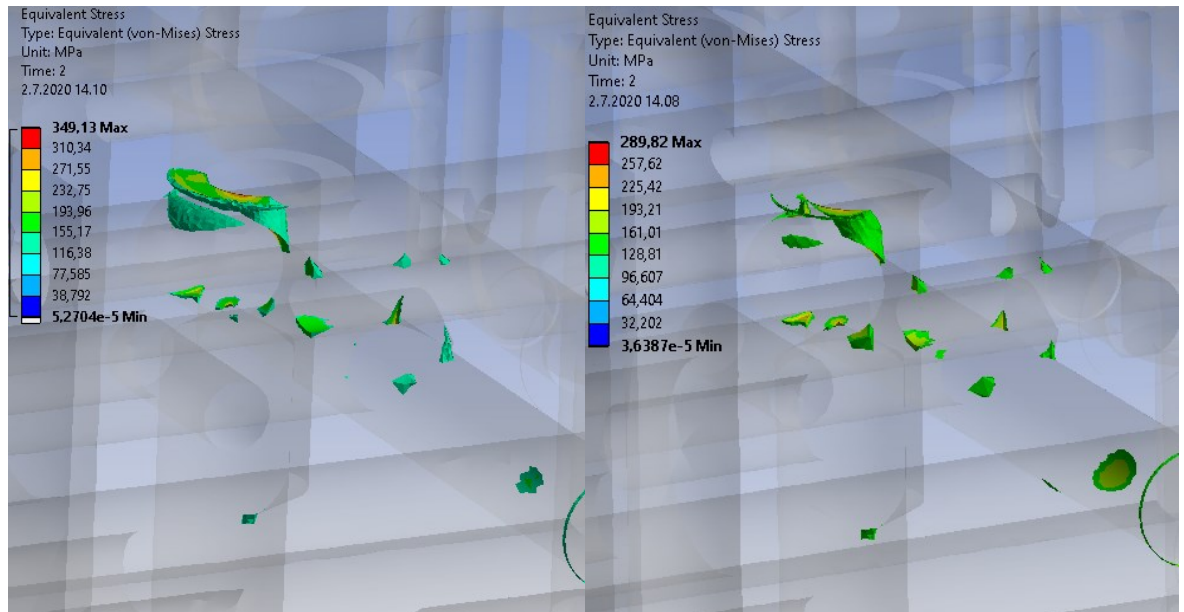
Sarjapuolen painepalkin pikaliitinlohkon simuloinnissa huomattiin, että jännitykset pysyivät hyvin kurissa, ja jäivät kriittisimmissä kohdissa alle 170 MPa suuruisiksi. Kriittisimmät kohdat olivat P1-linjan o-rengas upotuksen ympärillä olevissa pulttien kierteissä, sekä lohkon päällä sijaitsevan laippa liitännän porauksen ympärillä. Pulttien kierteiden jännitystä vääristää, se että simuloitessa reiät ovat tyhjiä, vaikka todellisuudessa pultti tulee reikää.

Vastaavasti sarjapuolen tankkipalkin pikaliitinlohkossa jännitykset keskittyivät samalla tavalla kierrereikään. Jännitys jäi selkeästi alle 180 MPa suuruiseksi. Kummallekaan pikaliitinlohkolle ei ole syytä tehdä minkäänlaisia muutoksia.

6.5 Sarjapuolen venttiililohkojen tarkastelu

Sarjapuolen painepalkin venttiililohkon simulointi suoritettiin kahdessa osassa. 400 bar paineen kanavat ja 600 bar paineen kanavat simuloitiin erikseen. 400 bar paineen simuloinnissa kriittisin jännitys löytyi P2-linjan ja pultinreiän väliltä. Pultinreiän seinämään syntyi alle 163 MPa jännitys, joten se ei vaatinut muutoksia. 600 bar simuloinnissa syntyi suuri jännitys korkeapainelinjan vapaakiertopatruunapesän pohjan ja kyljestä tulevan porauksen välille. Kyljestä tuleva poraus oli alunperin asetettu niin että se kulki samalla etäisyydellä patruunapesän pohjan alapuolelta ja ohjauspainelinjan yläpuolelta. Porausta siirrettiin lähemmäksi ohjauspainelinjaa yhden millimetrin, jotta jännitykset pienevät patruunapesän pohjassa.

Kuvassa Kuva 6.6 nähdään simuloinneissa esiintyneet sarjapuolen painepalkin venttiililohkon kriittisimmät jännitykset. Kuvan Kuva 6.6 vasemmalla esitetään alkutilanne, ja oikealla porauksen siirron jälkeinen tilanne. Kuvassa Kuva 6.6 tärkeimmät huomio kohdat patruunapesän pohja ennen ja jälkeen kuvissa vasemmalla, sekä korkea- ja ohjauspainelinjojen välinen seinämä ennen ja jälkeen kuvissa oikealla. Porauksen siirtämisellä saavutettiin huomattavasti pienempi jännitys patruunapesän pohjaan, kuitenkin lisäämättä liikaa jännitystä ohjauspainelinjan kohdalle. Suurin jännitys patruunapesän pohjassa väheni 350 MPa:sta 290 MPa:iin, kun taas ohjauspainelinjan kohdalla jännitys nousi vain 158 MPa:sta 175 MPa:iin. Vaikkakin patruunapesän pohjan jännityksiä vääristää se, että simuloinnissa ei oteta huomioon patruunan antamaa tukea senämälle, jännitys jakauma on selkeästi tasapainoisempi porauksen siirron jälkeen.



Kuva 6.6: Sarjapuolen painepalkin venttiililohkon kriittisin jännitys ennen ja jälkeen

Tarkasteltaessa projektipuolen tankkipalkin venttiililohkoa, mitään kriittistä jännitystä ei löytynyt. Suurin merkityksellisessä paikassa esiintynyt jännitys jäi alle 110 MPa:n.

6.6 Yhteenvetoa simuloinnista

Simulointi on tärkeä apuväline hydraulikka suunnittelussa, virheiden ja turvallisuus riskien välttämiseksi. Tässä työssä suoritettujen simuloitujen tuloksien avulla tehtiin parannuksia suunniteltujen lohkojen heikkoihin kohtiin. Parannuksilla vähennettiin mahdollisten turvallisuusriskien toteutumisen todennäköisyyttä.

Tässä projektissa tehdystä simuloinnista oli kuitenkin suhteellisen pienet hyödyt. Suunniteltujen lohkojen ulkomittojen vaatimusten ollessa löyhät, ei komponenttien sijoittelussa koitunut suuria ongelmia, ja näin ollen poraukset saatiin kulkemaan kaukana toisistaan. Simuloinnin hyödyt tässä projektissa keskittyi enemmän kokemuksen kartuttamiseen. Simulointitapausta rakentaessa sekä tuloksia tarkasteltaessa, kertyi paljon näkemystä tulevia suunniteltu tehtäviä varten.

Lohkoihin tehtiin vielä parannuksia simuloinnin jälkeenkin. Esimerkiksi luvussa 6.5 mainittu sarjapuolen painepalkin kriittisin jännityskohta muutettiin kestävämmäksi. Porauksen halkaisijaa pienennettiin, jolloin seinämän vahvuudet kasvoivat joka suuntaan. Porauksen halkaisijan pienentyessä virtaushäviöiden kasvamisesta ei koettu aiheutuvan ongelmaa, korkeapaine-linjan tilavuusvirran ollessa niin pieni.

7. VERIFIOINTI

Tässä luvussa arvioidaan kuinka hyvin valmis suunnitelma järjestelmästä vastaa luvussa 3 asetettuja vaatimuksia. Kappaleessa käydään kohta kohdalta vaatimukset läpi, ja osoitetaan suunnittelun vaiheet, joita kyseinen vaatimus koskee, ja miten se on otettu suunnittelussa huomioon. Verifiointi alkaa järjestelmävaatimusten läpi käynnillä, jonka jälkeen viimeisenä käydään läpi sidosryhmävaatimukset.

7.1 Turvallisuusvaatimusten verifiointi

Turvallisuusvaatimukset koostuivat useasta osa-alueesta. Luvussa 3.2 mainitut komponenttien valintaa koskevat turvallisuusvaatimukset otettiin huomioon venttiililohkojen karkean suunnittelun vaiheessa, joka on esitetty luvussa 0. Uusissa venttiililohkoissa käytetään komponentteina useita samoja, kuin vanhoissakin. Joka tapauksessa komponenttien sopivuus tarkastettiin vanhojen, kuin myös uusienkin komponenttien kohdalla. Putkien valintaa on esitelty luvussa 5.2, jossa selviää käytettävien putkien mitat. Putkien paineen kestot on tarkastettu, niiden mittoja valittaessa. Komponenttien vikaantumisesta aiheutuvia riskejä on pohdittu suunnittelun yhteydessä. Suurimmassa osassa tapauksista komponenttien vikaantuminen aiheuttaa järjestelmän sisäisen vuodon, josta ei ole käyttäjälle vaaraa. Komponenttien sijoittelulla, ja testipenkin uusilla suojilla saatiin ylimääräisiä kerroksia turvallisuutta vanhaan testipenkkiin nähden. Komponenttien standardien mukaisuus on varmistettu siten, että hankinta tapahtuu luotettavilta ja tutuilta tahoilta.

Turvallisuusvaatimusten Taulukko 2 esitetyt järjestelmän toimintavaatimukset ovat pääosin järjestelmän ominaisuuksia, joihin tämän projektin osalta ei vaikuteta. Nostamista koskeva vaatimus yli 15 kg esineille on huomioitu lohkoja suunnitellessa lisäämällä kaikkiin yli 15 kg painoisiin lohkoihin nostolenkit, osoitettuna luvun 5 kuvissa. Suunniteltujen tuotteiden maalausta ja pinnoitusta koskevat vaatimukset ovat täytetty asettamalla lohkojen työkuviin mustaus, sekä telineiden työkuviin maalaus.

Järjestelmän kunnossapitoon liittyvät turvallisuusvaatimukset sisältävät esimerkiksi järjestelmän huollon kannalta tärkeitä asioita. *”nestehäviöt olisivat mahdollisimman vähäiset”* sekä *”välttyminen säiliöiden tyhjennykseltä”*, edellä mainitut vaatimukset koskevat järjestelmää jo heti kun uusia palkkeja asennetaan. Säiliöiden tyhjennykseltä välttyminen ei vaadi lisä toimenpiteitä, sillä nykyisessä järjestelmässä

on valmiiksi huomioitu kyseinen asia, ja vastaventtiilijä on asennettu asian mukaisiin paikkoihin. Paine puolella paineenjakolohkot estävät vuodot, kun taas tankki puolella vastaventtiilit. Asentaessa uutta järjestelmää nestehäviöt voidaan minimoida ohjaamalla laitteistoa purettaessa vapautuva öljy takaisin säiliöön. Uusi testipenkki rakenne mahdollistaa hyvän luokse pääsyn sekä mahdollistaa asennuksen teon turvallisesti lattiatasolla. Uuden testipenkin pöytien ollessa helposti siirrettävät, voidaan mahdollistaa hyvä luokse pääsy myös normaaleissa huoltotoimenpiteissä. *”välttyminen tarpeettomalta viereisten osien purkamiselta”* -vaatimus on otettu huomioon palkkeja suunnitellessa, komponenttien sijoittelulla. Komponentit ovat sijoitettu siten, että niihin päästäisiin käsiksi palkkien ollessa kiinnitettynä testipenkkiin. Tämä on osoitettu luvussa 5.

Järjestelmän laitteisiin liittyvät turvallisuusvaatimukset olivat laajin turvallisuusvaatimusten osa-alue tässä työssä. *”komponentit tulee olla käytettävissä ja asennettavissa valmistajan ohjeiden ja suositusten mukaisesti”* -vaatimus itsessään on laaja ja vaikuttaa monessa eri suunnittelun vaiheessa. Komponentin ohjeiden ja suositusten mukainen käyttö on mietitty ja varmistettu luvussa 0 osoitetussa komponenttien valinnassa. Komponenttien ohjeiden ja suositusten mukainen asennettavuuden varmistus alkaa lohkosuunnittelun vaiheessa, joka on esitetty luvussa 5, jossa käytetään komponenttikohdaisia poraustyökaluja. Komponenttikohdaiset poraustyökalut sisältävät kyseisen komponentin ohjeiden mukaiset tiedot. Lohkojen piirrustuksissa on määritelty pinnanlaatu vaatimukset niille lohkon kyljille, joissa komponentteja on, tiukimman komponentti pinnanlaatuvaatimuksen mukaisesti.

”käytetään valmistajan ohjeiden ja suositusten mukaisesti”-vaatimus voidaan ajatella siten, että tässä työssä on suunniteltu ennalta tiedettyä käyttötarkoitusta varten laitteisto, joka toimii sen käyttötarkoituksen mukaisesti. Mahdollisten vuotojen aiheuttamia vaaratilanteita on huomioitu komponenttien sijoittelussa. Suurin osa palkkien komponenteista on sijoitettu kauemmaksi testaajasta. Uudet testipenkin suojat lisäävät turvallisuutta mahdollisilta vuodoilta. Itse venttiililohkojen kyljestä tapahtuvaa vuotoa on tarkasteltu luvussa 6, jossa palkkien paineen kesto tarkasteltiin FEM-analyysillä. Mahdollinen vuoto kohta sijaitsee palkkien lohkojen yhdistymis kohdassa. Lohkot yhdistyvät toisiinsa pulteilla. Pulttiliitos on mitoitettu luvussa 5.9, jossa pulttiliitoksien kesto on todistettu laskennallisesti.

Laitteiden tuenta on oltava riippumaton putkista ja liittimistä. Tämä on otettu huomioon tukirakenteiden suunnittelussa luvussa **Error! Reference source not found..** Venttiilien tarkoituksen mukainen luja asennus varmistetaan

kokoonpanokuvissa, joissa on listattu tarvittavat venttiilien kiristysmomentit. *”sisäiset kanavat oltava riittävän suuria tarkoittamattomien painehäviöiden minimoimiseksi”*-vaatimus on huomioitu venttiililohkojen suunnittelu vaiheessa, joka on esitetty luvussa 5. Kanavien koot valittiin siten, että ne olivat tilasta riippuen mahdollisimman suuria. Porauksien yhdistymis kohdissa huomioitiin tarpeellinen puhkeaminen kanavasta toiseen. Virtauskanavien vieraiden materiaalien olemattomuus on varmistettu lohkojen piirustuksissa, joissa se kuuluu perus vaatimuksiin. Sähköisten liitäntöjen ja solenoidien asianmukainen toiminta on varmistettu komponentteja valittaessa.

Putkistoon liittyviin turvallisuusvaatimuksista kaikkiin ei voitu tämän työn osalta vaikuttaa, putkiston säilyessä ennallaan. *”helppo pääsy liitoksiin, jotta voidaan kiristää tarvittaessa”*-vaatimukseen on vastattu jo aiemmissa kappaleissa. Samalla kun komponenttien sijoittelu on ajateltu huollon näkökulmasta, on myös mietitty että mikään komponentti ei estä tai haittaa putkiliitosten kiristystä. Putkistoon liittyvät vaatimukset tulee ottaa huomioon projektin myöhemmissä vaiheissa, kun uutta järjestelmää asennetaan. Esimerkiksi *”liitoksissa käytettävä asian mukaisia tiivistimiä”*-vaatimuksen luonteeseen kuuluu että käytetyt tiivistimet vaihdetaan uusiin asennuksen yhteydessä.

Letkuihin liittyvät turvallisuusvaatimuksia on käytetty mietittäessä säätölohkon sijoitusta. Säätölohkon kiinnitys testipenkin pöytään vaatii, että pöydän ja testipenkin keskiosan väliin tulee letkuliitännät, jotka mahdollistavat pöydän irroituksen ja siirtämisen. Letkut suojataan siten että ne eivät voi aiheuttaa nesteen purkautumista testipöydän ulkopuolelle. Letkut kiinnitetään pöydän alle siten että piiskamaisen iskun vaara vältetään.

Uuteen testipenkkiin tulee paineen mittaukseen tarkoitettuja mittareita eri kokoisilla mitta-alueilla. Mittareihin joissa mitta-alue ei ylety järjestelmän maksimi paineen tasolle, asennetaan suoja venttiilit, jotka eristävät mittarin järjestelmästä paineen noustessa yli säädetyn arvon. Mittaliitäntöjen nopea ja turvallinen kytkeminen on huomioitu luvussa 5, samalla kun muidenkin komponenttien sijoittelua on mietitty.

7.2 Toiminnallistenvaatimusten verifiointi

Tässä kappaleessa käydään läpi luvun 3.3 toiminnalliset vaatimukset, ja pohditaan kuinka hyvin suunniteltu järjestelmä vastaa niihin. *”Testipenkki yhdistyy testattavaan tuotteeseen, ja välittää sille öljyn painetta ja tilavuusvirtaa”*-vaatimus on perustavan laatuinen ja käsittää suunnitellun laitteen pää tarkoituksen. Suunniteltu laite liitetään

vanhoihin putkiin, jonka kautta nesteen paine ja tilavuusvirta kulkeutuvat laitteen sisäisiin kanaviin. Kanavien kautta öljy kulkeutuu pikaliittimiin, ja näin ollen suunniteltu laite täyttää vaatimuksen. Laitteen käyttöikä ei suunnittelu vaiheessa tarkasteltu erityisesti, mutta jos verrataan vanhaan laitteeseen, joka on ollut käytössä yli 10 vuotta, ei huomata mitään merkittäviä käyttöikää vähentäviä seikkoja. Komponentit ovat suurimmaksi osaksi samoja, ja rikkoutuessa ne voidaan vaihtaa. Itse lohkojen materiaalin kulumista ei olla tässä työssä tutkittu, mutta voidaan olettaa niiden kestävän yhtä kauan kuin edellisetkin lohkot.

”Testaajan toiminnot tapahtuvat suojien ulkopuolelta, mahdollisimman useassa tapauksista”-vaatimukseen ollaan tämän suunnittelu prosessin osalta vastattu parhaalla mahdollisella tavalla. Kaikki toiminnot jotka liittyivät tämän työn suunnittelu prosessiin, ja ovat mahdollisia siirtää käytettäväksi suojien takaa, on niin myös tehty. Tämä on esitetty luvussa 0, jossa käydään läpi palkkien vapaakiertohanojen muuttaminen suojien ulkopuolelta käytettäväksi patruunaventtiileiksi.

”Hydrauliikka järjestelmän osat sijaitsevat suojien sisäpuolella” sekä ”Uuden järjestelmän komponentit mahtuvat uusien suojien sisään”-vaatimukset ovat osittain päällekkäiset, lukuun ottamatta suunniteltuja kappaleita jotka eivät ole hydrauliikka osia, kuten esimerkiksi tukirakenteet. Kaikki hydrauliikka järjestelmän osat ovat suunniteltu mahtumaan uusien suojien sisäpuolelle, lukuun ottamatta säätölohkoa. Säätölohko sijoitettiin siten, että sen käsi käyttöiset venttiilit ovat käytettävissä suojien ulkopuolelta. Säätölohko ja siitä lähtevät letkut ovat kuitenkin suojattu parhaalla mahdollisella tavalla.

Hydrauliikka järjestelmän mahdolliset lisäoptiot ovat huomioitu venttiililohkojen suunnittelu vaiheessa luvussa 5. Lohkoissa olevat apuporaukset, jotka ovat suljettu tulpilla, mahdollistavat kyseiseen linjaan yhdistymisen. Palkkien jokaiseen linjaan löytyy mahdollisia liittymiskohtia, joihin voidaan yhdistää esimerkiksi sähköinen paineenrajoitin.

7.3 Ei-toiminnallistenvaatimusten verifiointi

Hydrauliikka järjestelmän toiminnot esitetään hydrauliikaaviossa. Palkkien suunnittelun alussa hydrauliikaaviot johdettiin vanhojen palkkien kaavioista, vanhojen toimintojen säilymisen varmistamiseksi. Testauksessa käytettävien liitäntöjen koot pidettiin samoina, sekä niitä asetettiin vähintään yhtä monta. Mahdollisuuksien mukaan liitäntöjä jopa lisättiin, mahdollisten lisäoptioiden sekä testauksen joustavuuden lisäämiseksi.

Suunnittelu projektin kustannuksia pohdittiin luvuissa 0 sekä 5.3, joista ensimmäisessä valittiin suunnitellun järjestelmän komponentteja. Komponenttien valinnassa yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on komponentin hinta. Luvussa 5.3 vertailtiin kahden eri palkki suunnitelman eroja kustannus näkökulmasta. Kyseessä oli putkien uusimisen ja vanhoihin putkiin sopivan lohkon vertailu. Energian siirron tehokkuus vaatimukseen on vastattu käyttämällä lohkojen suunnittelussa mahdollisimman suuria porauksia. Energia tarkoittaa tässä työssä nesteen painetta ja tilavuusvirtaa.

Loput ei-toiminnallisetvaatimukset liittyvät tuotteen testaamisen tehokkuuteen, joustavuuteen sekä ergonomisuuteen. Näihin vaatimuksiin on vastattu luvuissa 0 ja 5, joissa testilaitteiston käyttöön vaikutetaan venttiililohkojen ja niiden komponenttien sijoittelulla. *”Testattavan tuotteen liittäminen ja irrottaminen tulisi tapahtua mahdollisimman helposti ja nopeasti”*-vaatimus on huomioitu siten, että lohkoja suunnitellessa on huomioitu että pöydälle jää riittävästi tilaa, joka mahdollistaa testattavan tuotteen siirtelyn. Testattavan tuotteen liittämiseen ja irrottamiseen vaikuttaa myös pikaliitinten sijoittelu, joka on pyritty suunnittelemaan siten että ne olisivat riittävällä etäisyydellä toisistaan. Liitäntä rajapinnan monipuolisuus ja joustavuus riippuu siitä, kuinka paljon eri kokoisia liitäntöjä siinä on käytettävissä. Suunniteltaessa venttiililohkoja suosittiin ennemmin isompia liitin kokoja, koska niiden paikalle voidaan asentaa myös tarvittaessa pienempi liitin, toisin kuin pieneen liitin paikkaan ei voi asentaa suurempaa liitintä. Liitäntä rajapinnan monipuolisuutta pyrittiin lisäämään tai vähintäänkin pitämään se samana, kuin vanhoissa palkeissa.

Testaajan letkujen liittämiseen ja laitteen käyttöön liittyvät ergonomia asiat huomioitiin luvussa 0 palkkien pikaliitinlohkon sijoitusta suunnitellessa. Pikaliitinten asento on myös tärkeässä roolissa. Uudessa testipenkissä letkujen liittäminen palkkeihin tulee olemaan helpompaa ja ergonomisempaa, kuin vanhassa. Pöydän ylitse kurottelu loppuu, kun testaaja pääsee sivuovesta palkkien viereen liittämään letkuja. Järjestelmän käyttöön liittyvä ergonomia sisältää säätöpalkin sekä palkkien vapaakiertojen ohjauksen käytön. Säätöpalkki sijoitetaan pöytään siten, että se on ergonomisella korkeudella. Palkkien vapaakiertojen kytkimet tullaan sijoittamaan käyttöpaneeliin, joka kulkee testaajan mukana testipenkin pyöden ympärillä.

7.4 Sidosryhmävaatimusten verifiointi

Tässä luvussa pohditaan luvussa 3.1 määriteltyjä sidosryhmien vaatimuksia, ja suunnitellun järjestelmän vastaavuutta niihin. Sidosryhmävaatimusten verifiointi on luvun 2.7 esitellyn V-mallin viimeinen vaihe. Tässä arvioidaan koko projektin

onnistumista, kuten luvun 3 alussa mainitaan :” *Projektin onnistuminen riippuu siitä, kuinka hyvin valmis tuote vastaa sidosryhmävaatimuksia*”. Koska aiemmin tässä luvussa mainitut vaatimukset ovat johdettu sidosryhmävaatimuksista, ovat ne osittain päällekkäisiä ja täten osa sidosryhmävaatimuksista onkin jo verifioitu.

Käyttäjävaatimuksista ensimmäisenä oli laitteiston ergonomisuus. Uuden laitteiston ergonomisuus vaatimusten vastaavuus on osoitettu edellisessä luvussa. Laitteiston ergonomisuuden voidaan ajatella olevan hyvällä tasolla. Ergonomisuutta ja testaamisen tehokkuutta lisää luvussa 5.7.2 esitelty letkulenkkilohko, jolla korvataan perinteiset käsihanalliset letkulenkit. Testaaminen tehostuu kun letkut löytyvät valmiina roikkumassa letkulenkkilohkosta, eikä niitä tarvitse erikseen hakea toisaalta. Letkulenkkilohkolla saavutetaan lenkin sulkeminen suojien ulkopuolelta, sähkötoimisten venttiilien avulla.

Testattavan tuotteen kuljetus testipenkkiin ja sieltä pois vaatimukset liittyvät enemmän uuden testipenkin rakenteiden suunnitteluun, mutta niihin on vastattu siten että pöydän jokaisen kyljen suojat avautuvat ja mahdollistavat tuotteen kuljetuksen. Uuden testipenkin pöydän avautuvien ovien yläreunassa ei voi olla karmia, joka estäisi tuotteiden liikuttelun nosturilla. Tuotteen liittäminen testipenkkiin liittyy tämän työn suunnittelu prosessiin. Tuotteen esteettömyyden liittämiseen vaikuttaa palkkien ja liitinten sijoittelun suunnittelu, joka on esitelty luvuissa 0 ja 5. Liittimien sijoittelussa on otettu huomioon letkujen liittäminen, ja letkujen turvallisuusvaatimuksissa esitetyt seikat.

Pohdittaessa vaatimusta: ”*tuotteen testaus tulee toimia vähintään yhtä vaivattomasti kuin vanhalla laitteistolla*”, esille nousee sekä hyviä että huonoja puolia. Letkuliitäntöjen käyttö helpottuu selkeästi, kuten myös vapaakiertoventtiilien että letkulenkkien. Luvussa 2.1 esitellyssä testaus järjestelmässä todettiin, että testaaja käyttää hyödykseen tunto- ja kuuloaisteja testatessaan. Uudet suojat haittaavat tätä jossain määrin, ja tästä syystä järjestelmään on kaavailtu lisättäväksi halpoja virtausmittareita, joilla voitaisiin todeta virtaus tietyn letkun kautta. Esimerkiksi suuntaventtiiliä testatessa joissakin tapauksissa testaaja tunnustelee letkussa kulkevaa virtausta kädellä letkun päältä. Sama voitaisiin todeta virtausmittarin avulla suojien ulkopuolelta, samalla parantaen testaajan turvallisuutta.

Tuotannon johdon vaatimuksista ensimmäinen oli: ”*Turvallisuuden tulee olla parempi kuin vanhalla laitteistolla*”. Suunniteltu järjestelmä vastaa tähän vaatimukseen hyvin, ja se on todistettu kattavasti aiemmin tässä luvussa. Tärkeimpänä esimerkkinä turvallisuuden parantamisesta toimintojen siirtäminen käytettäväksi suojien

ulkopuolelta. *”Testin tulee sujua vähintään yhtä tehokkaasti kuin vanhallakin laitteistolla”*-vaatimukseen suunniteltu järjestelmä vastaa parantamalla liitältä rajapinnan ergonomisuutta sekä monipuolisuutta. Testin aikaisen aistien varaisten menetelmien heikentyessä suojien lisääntyessä, testaamisen tehokkuus tältä osin pyritään säilyttämään vaihtoehtoisilla menetelmillä. Uuteen laitteistoon siirtyminen ei suoranaisesti koske tämän työn aluetta, joka loppuu suunnitelman valmistumiseen. Tässä työssä tehty suunnitelma ja sen onnistuminen vaikuttaa kuitenkin merkittävästi uuden laitteiston käyttöönottoon.

Projektin kustannuksiin liittyvään vaatimukseen vastattiin ei-toiminnallistenvaatimusten verifiointi luvussa. Uuden laitteiston kustannuksia pyrittiin parhaan mukaan minimoimaan suunnittelu vaiheessa. Projektin riskeillä tarkoitetaan suunnittelun, valmistuksen sekä käyttöön oton aikaisia riskejä. Riskeistä voi aiheutua ylimääräisiä kustannuksia, ja näin ollen vaikuttavat myös kustannus vaatimuksessa pysymiseen. Tässä työssä keskitytään suunnittelu vaiheen riskeihin. Hyvänä esimerkkinä riskien minimoimisesta tässä työssä on luvussa 5.3 käsiteltävä kahden suunnittelu vaihtoehdon vertailu, jossa putkien vaihtoon liittyvää riskiä pidetään yhtenä tärkeänä aspektina vertailussa. Hyvin tehty suunnitelma auttaa riskien hallinnassa myöhemmissä projektin vaiheissa. Laitteen käyttöikä vaatimukseen vastattiin jo ei-toiminnallistenvaatimusten verifiointi luvussa.

8. YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli dokumentoida hydraulisen testiaseman hydraulisen rajapinnan suunnittelu prosessi ja ratkaista tutkimuskysymykset. Testiasemien suojauksien uudistaminen, loi tarpeen hydraulikkajärjestelmän uudelleen toteuttamiselle. Hydraulisen rajapinnan suunnittelu prosessi toteutettiin systems engineering:in keinoin. Tämän työn rakenne seuraa systems engineering:in yhtä keskeisimmistä suunnittelu prosessia: V-mallia. Suunniteltavaan järjestelmään kuului venttiililohkoja, niiden komponentteja, putkia sekä tukirakenteita.

Suunnittelu prosessi alkoi vaatimussuunnittelulla, jossa otettiin huomioon järjestelmän turvallisuuteen, toimintaan ja ominaisuuksiin liittyvät asiat. Vaatimusten ollessa määriteltynä, voitiin jatkaa karkeansuunnittelu vaiheeseen, jossa järjestelmän osat suunniteltiin karkealla tasolla. Seuraavaksi järjestelmän osat suunniteltiin tarkemmin valmiiksi tuotteiksi asti. Valmiiden tuotteiden ominaisuuksia ja toimivuutta testattiin simulointi vaiheessa, jossa paineen kestoa tarkasteltiin FEM-analyysin keinoin. Simulointi vaiheessa havaitut puutteet korjattiin asiaan kuuluvilla tavoilla. Simuloinnin jälkeen valmiit tuotteet verifioitiin palaamalla vaatimuksiin ja vertaamalla tuotteita niihin. Suunnittelu prosessin loppu tuloksena saatiin toteutus kelpoinen hydraulikkajärjestelmä. Järjestelmä ja sen osat vastasivat hyvin niille asetettuja vaatimuksia.

Työn alussa määritellyjä tutkimuskysymyksiä ratkaistiin työn edetessä erilaisien tutkimusmenetelmien avulla. Tutkimuskysymyksistä kaksi oli työn kannalta ajateltuna laajoja ja monikäsitteisiä, kun taas kaksi kysymystä oli selkeästi kapeampia ja helpommin omiksi kokonaisuuksiksi eroteltavia. *”Mitä muutoksia hanke vaatii hydraulikan osalta?”*, kysymys ja sen ratkaisu oli erittäin laaja. Kysymykseen ratkaisuun liittyi aluksi järjestelmän alkutilanteen kartoitusta, joka on esitelty luvussa 2, sekä hydraulikka järjestelmään suunniteltuja muutoksia komponentti tasolla, jotka on esitelty luvuissa 4 ja 5. Esimerkiksi luvussa 4 komponentteja valittaessa kartoitettiin muutoksia hydraulikka järjestelmän komponentteihin. *”Millaiset testipenkin hydraulikka palkit ovat käyttäjäystävälliset ja turvalliset?”*, kysymystä on käsitelty luvussa 3, jossa esitellään koko järjestelmälle asetetut vaatimukset. Vaatimuksissa otetaan kantaa järjestelmän osien käytettävyyteen ja turvallisuuteen. Kummankin edellä mainitun kysymyksen ratkaisun tutkimiseen käytettiin kirjallisuuskatsausta, sekä teemahaastattelua tutkimusmenetelminä. Kirjallisuuskatsauksissa selvitettiin tieteellisistä lähteistä aiheeseen liittyviä faktoja,

kuten esimerkiksi turvallisuusvaatimuksia määriteltäessä viitattiin SFS-EN ISO 4413 yleiseen hydraulikan turvallisuus standardiin. Hankkeen vaatimia muutoksia kartoittaessa selvitettiin järjestelmän nykytilannetta kirjallisuuskatsauksen avulla vanhoista dokumenteista. Teemahaastatteluja toteutettiin projektin alkuvaiheessa, ja kohteina olivat kyseisen järjestelmän käyttäjät. Teemahaastattelut lähtivät liikkeelle valmiiksi määriteltyjen kysymysten pohjalta, ja etenivät yleensä vapaaksi keskusteluksi, joista syntyi hyviä kehitys ideoita. Teemahaastatteluista selvisi tärkeitä tietoja järjestelmän nykytilasta, tarvittavista muutoksista, kehitys ideoita, sekä laitteen käytettävyyteen ja turvallisuuteen liittyviä asioita. Osa kysymysten ratkaisuksista löytyi myös toimintatutkimusta toteuttaessa työn suunnittelu vaiheessa, esimerkiksi palkkien sijoittelua mietittäessä järjestelmän käytettävyys oli optimoitavana suureena. Näiden kahden tutkimuskysymyksen ratkaisut ovat moniselitteiset ja niiden avulla saatiin lopulta toteutettua onnistunut suunnitelma uudesta hydraulikka järjestelmästä, joka on käyttäjäystävällinen ja turvallinen.

Kaksi jäljelle jäänyttä tutkimuskysymystä ovat huomattavasti yksiselitteisemmät. Lohkojen välisten pulttiliitosten paineen kesto sekä lohkojen sisäisen paineen kesto ovat yksinkertaisesti laskennallisesti tutkittavia ilmiöitä. Pulttiliitosten paineen keston laskenta toteutettiin kirjallisuuskatsauksen avulla selvitettyillä kaavoilla, kun taas lohkojen sisäisen paineen keston laskenta toteutettiin simuloinnilla. Luvussa 5.9 on esitelty pulttiliitosten paineen keston laskenta, jossa selviää pulttiliitoksissa käytettävien pulttien minimi määrät, halkaisijat ja laadut. Pulttiliitokset mitoitettiin niin että ne ovat turvallisuusvaatimuksien mukaiset. Lohkojen sisäisen paineen keston simulointi on esitelty luvussa 6, jossa lohkojen 3D-mallien sisäisiin kanaviin simuloitiin paineen aiheuttamat voimat. Simuloinnissa tarkasteltiin lohkojen materiaaliin kohdistuvia jännityksiä. Simuloinnin tuloksena saatiin selvitettyä kaikkien suunniteltujen lohkojen paineenkesto, ja todettiin että ne kestävät painetta niille asetettujen vaatimusten mukaisesti, ja näin ollen ovat järjestelmälle asetettujen vaatimusten mukaiset.

Kuten luvussa 3 Vaatimukset mainittiin, että projektin lopputuloksen vastaavuus sidosryhmävaatimukseen kertoo kuinka onnistunut projekti on ollut. Yleensä V-mallissa vaatimuksia verrataan vasta valmiiseen tuotteeseen, mutta tämän työn luonteen takia se tehtiin valmille suunnitelmalle. Tämän työn verifiointi osiota voidaan ajatella koko projektin väli tarkastus pisteinä, jolla varmistetaan suunnitelman oikeellisuus. Uusi verifiointi tulee tehdä viimeistään uuden laitteiston käyttöönoton yhteydessä, jotta saadaan varmennettua kohdat joita ei voitu tämän työn puitteissa tehdä. Vaatimukseen on syytä tukeutua projektin edetessä valmistus ja käyttöönotto

vaiheisiin. Tämän työn lopputulos vastaa hyvin vaatimuksia, ja näin ollen tarjoaa hyvän pohjan projektin seuraaville vaiheille.

9. LÄHTEET

- [1] Iversen, Mathiassen, Nielsen. Managing Risk in Software Process Improvement: An Action Research Approach. 2004.
- [2] Tarja Tiainen. Haastattelu tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa. 2014
- [3] Systems engineering definition, INCOSE – International Council on Systems engineering, Verkkosivu saatavissa (viitattu 14.7.2020): <https://www.incose.org/about-systems-engineering/system-and-se-definition>
- [4] Eisner, Howard, Essentials of Project and Systems Engineering Management (3rd Edition), 2008
- [5] Kevin Forsberg and Harold Mooz, The Relationship of System Engineering to the Project Cycle, 1991
- [6] Fowler, Kim R., and Craig L. Silver. Developing and Managing Embedded Systems and Products : Methods, Techniques, Tools, Processes, and Teamwork . Oxford, England ;: Newnes. Print.
- [7] INCOSE Systems Engineering Handbook : A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, 2015
- [8] SFS-EN ISO 4413, Hydraulinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset
- [9] Ellenberger, J. Phillip, Piping and Pipeline Calculations Manual - Construction, Design Fabrication and Examination (2nd Edition), 2014
- [10] Putkivirtaus, Metropolia Koneautomaation oppimateriaali, 2009, Verkkosivu saatavissa (viitattu 27.10.2020): <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>
- [11] Rennels, Donald C., Pipe flow a practical and comprehensive guide, 1937
- [12] PSK-käsikirja 1, Teollisuushydraulijärjestelmän suunnittelu ja hankinta, PSK-standardisointi, 2014
- [13] Kauranne, Heikki.; Kajaste, Jyrki.; Vilenius, Matti. Hydrauliteknikka, 2013
- [14] Parker, Hydraulic valves industrial standard, catalogue HY11-3500/UK
- [15] Kotilainen, Heikki., and Markku. Rantanen. Materiaalinvalinta : yleisohjeet . Hki: Suomen metalliteollisuuden keskusliitto. 1982
- [16] Ted Belytschko, Wing Kam Liu, Brian Moran, Khalil Elkhodary. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures, 2014
- [17] Material data sheet HYT 60®, Verkkosivu saatavissa (viitattu 31.8.2020): <https://www.von-schaewen.de/wp-content/uploads/2016/07/Datenblatt-HYT-60-englisch-21.04.2016.pdf>